ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА МОБІЛЬНИХ ТА ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методи та алгоритми стиснення відеоданих»

на здобуття освітнього ступеня магістра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис) Олександр КОЗЛОВ
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-61
Олександр КОЗЛОВ

Керівник: Наталія РУДЕНКО

Рецензент: В Василенко

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Козлову Олександру Михайловичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи та алгоритми стиснення відеоданих»,
керівник кваліфікаційної роботи Наталія РУДЕНКО, к.т.н., доцент,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Цифрові телевізійні системи мовлення;
   2. Параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DVB-T;
   3. Науково-технічна література.
   4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
1. Основні характеристики систем наземного цифрового телевізійного мовлення;
2. Параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DVB-T;
3. Дослідження ефективності застосування стандарту H.264 при передачі відеосигналу.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір науково-технічної літератури	23.10.2023	Виконано
2	Огляд та аналіз шляхів розв'язання проблем роботи	03.11.2023	Виконано
3	Основні характеристики систем наземного цифрового телевізійного мовлення	21.11.2023	Виконано
4	Параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DVB-T	27.11.2023	Виконано
5	Дослідження ефективності застосування стандарту H.264 при передачі відеосигналу	30.11.2023	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2023	Виконано
7	Висновки, вступ, реферат	08.12.2023	Виконано
8	Презентація	17.12.2023	Виконано

Здобувач вищої освіти Олександр КОЗЛОВ

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи Наталія РУДЕНКО

(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи: 80 сторінок, 34 рисунки, 6 таблиць, 17 посилань.

Мета роботи – дослідити методів та алгоритмів передачі відеоданих.

Об'єкт дослідження – системи передачі цифрового телебачення.

Предмет дослідження – кодек H.264 в стандарті DVB-T.

Методи дослідження – аналітичний, методи системного аналізу, імітаційного моделювання.

В роботі розглянуто цифрові телевізійні системи мовлення ATSC, DVB і ISDB. Зроблений висновок про те, що система телевізійного мовлення DVB є найбільш ефективною в порівнянні з ATSC і ISDB. Досліджено параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DVB-T.

Експериментально досліджено ефективність застосування стандарту H.264 в при передачі відеосигналу. Зроблено висновок про необхідність застосування в стандарті DVB-T сучасного кодека H.264, як найбільш ефективного по рівню кодування відеоданих.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕЛЕВІЗІЙНЕ МОВЛЕННЯ, ЦИФРОВІ, СТИСКУВАННЯ, ПАРАМЕТРИ, H.264, DVB-T, ЯКІСТЬ ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯ, МАКРОБЛОК, БЛОК ПЕРЕДБАЧЕННЯ

ABSTRACT

The text part of the qualification work: 80 pages, 34 figures, 6 tables, 17 references.

The purpose of the work is to investigate the methods and algorithms of video data transmission.

The object of research is digital television transmission systems.

The subject of the study is the H.264 codec in the DVB-T standard.

Research methods - analytical, methods of system analysis, simulation modeling. Digital television broadcasting systems ATSC, DVB and ISDB are considered in the work. It was concluded that the DVB television broadcasting system is the most effective in comparison with ATSC and ISDB. The parameters of digital terrestrial television broadcasting of the DVB-T standard have been studied.

The effectiveness of the application of the H.264 standard in the transmission of a video signal was experimentally investigated. A conclusion was made about the need to use the modern H.264 codec in the DVB-T standard, as the most effective in terms of video data encoding.

KEYWORDS: TELEVISION BROADCAST, DIGITAL, COMPRESSION, PARAMETERS, H.264, DVB-T, VIDEO IMAGE QUALITY, MACROBLOCK, PREDICTION BLOCK

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Козлова Олександра Михайловича
на тему: «Методи та алгоритми стиснення відеоданих»

Актуальність:

На сьогоднішній день цифровізація телевізійних мереж залишається одним з найважливіших питань різнорідної телекомунікаційної галузі. Саме системи цифрового телевізійного мовлення є найбільш перспективними за своїми параметрами для реальних умов.

Тому бакалаврська робота студента, що присвячена дослідженню методів передачі відеоданих в телекомунікаційних мережах, є актуальною.

Позитивні сторони:

1. Автором проведено детальний аналіз предметної області, наведено порівняння існуючих стандартів, де наведено всі переваги та недоліки.
2. Описано специфікації модулів VCL і NAL і показано розмежування процесу відеокодування (VCL) та подальша підготовка даних до їх транспортування (NAL).
3. Кваліфікаційна робота виконана у відповідності до поставленого завдання, матеріал викладено логічно і послідовно. Текст кожного розділу роботи супроводжується рисунками, що наочно пояснюють розглянутий матеріал.

Недоліки:

1. В роботі не представлено стандарт мобільного телебачення DMB.
2. В роботі не показано чи використовує кодек H.264 для кодування аудіосигналів сторонні кодеки.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «добре», а здобувач КОЗЛОВ Олександр Михайлович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: к.т.н., доцент _____ В. Василенко

(науковий ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Козлов О.М. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Методи та алгоритми стиснення відеоданих

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Козлов Олександр Михайлович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Козлова Олександра Михайловича на оцінку «добре» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Козлов О.М.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

" " _____ 2023 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....9

ВСТУП.....10

1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ.....12

1.1 Розвиток цифрового ТВ мовлення та його переваги.....12

1.2 Система ATSC.....14

1.3 Система DVB.....20

1.4 Система ISDB.....22

2 ПАРАМЕТРИ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ DVB-T.....27

2.1 Загальна характеристика і структура системи DVB-T.....27

2.2 Стискування телевізійного сигналу.....30

2.3 Рандомізація даних.....35

2.4 Зовнішнє кодування і перемежування.....38

2.5 Внутрішнє кодування.....42

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СТАНДАРТУ Н.264 ПРИ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОСИГНАЛУ.....46

3.1 Загальна характеристика кодека Н.264.....46

3.2 Базовий профіль кодека Н.264.....56

3.3 Збільшення якості відеозображення ТВ-каналів за допомогою стандарту Н.264.....69

ВИСНОВКИ.....79

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....81

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.....83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце

БЗП – буферний запам'ятовувальний пристрій

ВП – відеопослідовність

ДКВ – деквантування (обернене квантування)

ДКЗД – декодер кода зі змінною довжиною слова

ДКП – дискретне косинусне перетворення

КБШ – контроль бітової швидкості

КВ – квантування

ККЗД – кодер кода зі змінною довжиною слова

КТЗЗ – каскадний транскодер зі зворотним зв'язком

ОАЯ – об'єктивний аналіз якості

ОДКП – обернене дискретне косинусне перетворення

AOM – Alliance for Open Media (альянс відкритих медіа)

DSIS – Double Stimulus Impairment Scale (метод порівняння стимулів)

DSL – Domain-specific language (предметно-орієнтована мова програмування)

DVD – Digital Versatile Disc (цифровий багатоцільовий диск)

HDTV – High-Definition Television (телебачення високої роздільної здатності)

HEVC – High Efficiency Video Codec (високоефективне кодування відео)

ISDN – Integrated Services Digital Network (цифрова мережа з інтегрованими службами)

ВСТУП

Перехід України на цифрове мовлення - надзвичайно важливий проект для держави, телеглядачів та телевізійної індустрії. Зважаючи на те, що цей проект - міжнародний, обов'язок держави забезпечення громадян своєчасною достовірною інформацією, здійснення контролю за виконанням проекту учасниками процесу, забезпечення сталого та ефективного впровадження цифрового мовлення.

Важливим питанням для вирішення проблем з підвищення пропускної здатності телевізійних каналів є проблема стискування інформації. З теорії електрозв'язку відомо: по каналу зв'язку з шириною смуги пропускання ΔF можна передавати $2\Delta F$ біт інформації за 1 с, тобто ефективність використання смуги частот каналу зв'язку складає 2(біт/с)/Гц. Отже, для передачі в послідовній формі цифрового телевізійного сигналу швидкістю передачі двійкових символів 243 Мбіт/с необхідний канал зв'язку з шириною смуги 121,5 МГц. Ясно, що ні який стандартний канал наземного телевізійного мовлення, що має ширину смуги 8 МГц, ні супутниковий канал зв'язку, що має ширину смуги 27 МГц, непридатні для передачі цифрового телевізійного сигналу.

Відповідно одним з важливих завдань в області цифрового телебачення є завдання скорочення швидкості передачі двійкових символів і, відповідно, необхідної смуги частот каналу зв'язку. Це завдання може бути вирішена шляхом стискування інформації, що передається в телевізійному сигналі. Стискування інформації забезпечує також зменшення необхідного об'єму запам'ятовуючих пристроїв, при записі телепередач або окремих зображень.

Новий стандарт H.264 розроблений саме для вирішення цих проблем. Діапазон бітових швидкостей і розмірів зображень,

підтримуваних стандартом H.264, дуже широкий. Можливості його відеокодування тягнуться від малих бітових швидкостей і малої частоти кадрів з розподільчою здатністю відеокадру типу «поштова марка» для мобільної телефонії і з'єднань по звичайних телефонних лініях до високоякісного мовного і розважального телебачення високої чіткості, HDTV і вище. Гнучка інтерактивна система для кодованого відео відрізняється високими адаптивними здібностями стосовно конкретного відеоконтенту для використання в широкому різноманітті каналів і мереж. В той же час технічні розробки були жорстко сфокусовані на забезпеченні високої ефективності кодування і стійкості при передачі по різних каналах звичайних прямокутних відеозображень, які знімаються стандартними відеокамерами.

Тому, тема роботи, яка присвячена дослідженню методів передачі відеоданих в телекомунікаційних мережах, є актуальною.

1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ

1.1 Розвиток цифрового ТВ мовлення та його переваги

Часом початку цифрового ТВ мовлення в Європі і, практично виразу, в США, слід рахувати листопад 1998 р. У Європі цифрове ТВ мовлення розвивалося відповідно до проекту DVB (Digital Video Broadcasting). Враховуючи різноманітність форм ТВ мовлення, частина проекту була присвячена розробці технічних рішень відносно супутникового телебачення, вона отримала назву DVB-S (...Satellite), частина - до кабельного (DVB-C - ...Cable), а частина - до наземного або ефірного мовлення (DVB-T - ...Terrestrial). Останніми роками в стандарті DVB-T почали мовлення Швеція, Іспанія, Данія і Австралія. Крім того, підготовчі роботи велися також в Сінгапурі, Новій Зеландії і Індії. Стандарт ISBD (Integrated Services Digital Broadcasting), розроблений в Японії, є в деякому розумінні модифікацією європейського стандарту ТВ мовлення. Найближчим часом ще 12 країн Європи, а також Сінгапур, Нова Зеландія і Індія планують почати трансляцію ТВ програм в стандарті DVB-T.

У США робота над стандартом цифрового ТВ мовлення почалась в 1987 р., а в 1996 р. Федеральна комісія США та зв'язку (Federal Communications Commission, FCC) затвердила розроблений стандарт як національний. Він отримав назву ATSC (Advanced Television Systems Committee). Вже в листопаді 1998 р. 26 станцій в 10 регіонах США приступили до цифрового ТВ мовлення. Одночасно в країні зберігалося і зберігається зараз мовлення в аналоговому стандарті NTSC. В той же час, згідно стратегічному плану розвитку ТВ мовлення в країні, до 2006 р. всі

мовні компанії повинні повністю перейти на цифрове ТВ мовлення, і в тому випадку, якщо в 95 % населення будуть цифрові ТВ приймачі, аналогове мовлення до цього часу повинне припинитися. До цифровому мовленні в стандарт ATSC приєдналися також Канада, Північна Корея, Тайвань і Аргентина.

Таким чином, в даний час в світі працюють різні системи цифрового телебачення. При цьому, як це колись було і з аналоговим телебаченням, єдиний для всіх країн стандарт на цифрове ТВ мовлення досі відсутній.

Переваги цифрового ТВ мовлення для телеглядачів [2]:

- можливість підключитися за один день до високоякісного сигналу без дротів, без супутникової тарілки;
- цифрове телебачення не прив'язано до конкретного місця;
- телепередачі у форматі мовлення телебачення високої чіткості, при цьому можливості нових плазмових телевізорів будуть використані повною мірою;
- перегляд телепрограм в рухливому транспорті: трамваї, автобусі, міській електричці, особистому автомобілі (мобільне ТБ);
- можливість брати участь в програмі безпосередньо під час трансляції;
- можливість замовляти товари, послуги або навчатися дистанційно, не виходячи з будинку (інтерактивне ТБ).
- Переваги цифрового ТВ мовлення для провайдерів ТБ:
- розміщення нових телеканалів за рахунок десятиразового збільшення можливості частотного ресурсу;
- збільшення часу телеперегляду - до традиційного ранок/вечір додається денний за рахунок прийому телевізійного сигналу в приватному і суспільному транспорті і на мобільні телефони, комп'ютери;
- розширення зони обхвату сигналу на всю область ретрансляції (мінімум в 3 рази);

- скорочення витрат на мовлення за рахунок того, що витрати на експлуатацію одного телевізійного передавача розділяться на декілька користувачів;
- висока якість зображення за рахунок застосування телебачення високої чіткості;
- можливість реалізації принципово нових проектів інтерактивних програм.

До вищесказаного слід додати наступне:

Необхідний рівень сигналу для якісного перегляду телеканалів в цифровому форматі набагато нижче, ніж в аналоговому. Іншими словами, там, де аналогове ТБ прийматиметься з завадами, цифровий сигнал можна приймати в тій якості, в якій він формується в телевізійних студіях.

Збільшення числа каналів за рахунок використання передового формату MPEG-4. У цьому стандарті вдосконалений алгоритм стискування зображення. Тому з часом кількість транслюємих каналів не поступатиметься кабельному ТБ.

Упевнений прийом сигналу можливий навіть на перших поверхах будинку, де антена може прийняти лише відбитий сигнал, без прямої видимості передавальної вежі.

1.2 Система ATSC

Система ATSC, розроблена і упроваджена в США, як і інші системи цифрового ТВ мовлення, передбачає кодування аудіовізуальної інформації і даних, призначених для передачі, за стандартом MPEG-2, проте транспортний потік, який формується в кодуючому пристрої, не повинен перевищувати значення 80 Мбіт/с.

Поясню принцип побудови системи цифрового ТВ мовлення ATSC. Як вже було сказано, передаванні сигнали кодуються за стандартом MPEG-2, внаслідок чого формується транспортний потік, який і має бути переданий на приймальну сторону. Щоб по каналах ефірного мовлення донести цю інформацію до глядачів, система ATSC регламентує спеціальний вигляд модуляції, що дозволяє ефективно використовувати стандартний ТВ канал, а також деякі заходи по забезпеченню канального кодування. Тут доречно пригадати про те що йдеться про мовні ТВ системи, де різні «одержувачі» інформації знаходяться в різних умовах прийому. Отже, необхідно прийняти заходи для забезпечення додаткової перешкодостійкості прийому сигналу. Для цього використовуються способи канального кодування.

Розробники системи ATSC передбачили застосування для передачі ТВ сигналу багатопозиційної амплітудної модуляції з придушенням нижньої бічною смуги, що якоюсь мірою відповідає принципам побудови існуючих аналогових систем ТВ мовлення. Такий вигляд модуляції називається VSB-AM.

Система VSB розроблена в декількох варіантах, в залежності від вигляду модулюючого сигналу: 2.-VSB, 4-V.SB, 8-VSB, 8T-VSB, 16-VSB. Кількість рівнів модулюючого сигналу міняється від двох до шістнадцяти, при цьому відповідно змінюється і швидкість передач даних, яка визначається як частота дотримання символів, помножена на логарифм кількості рівнів.

При використанні восьмипозиційного модулюючого сигналу (спосіб модуляції 8-VSB), в інтервалі одного символу передаються три двійкові розряди потоку даних. У смузі 6 МГц (ширина частотного ТВ каналу в США) система 8-VSB здатна передавати потік даних 32.3 Мбіт/с.

Розглянемо детальніше процес перетворення стандартного транспортного потоку в радіосигнал, передаваний по ТВ каналу. Транспортний потік, сформований відповідно до стандарту MPEG-2, піддається обробці, яка

має на меті, по-перше, здійснити додаткове кодування для подальшої корекції помилок, і, по-друге, привести структуру передаваних даних у відповідність з концепцією побудови системи ATSC. Послідовність дій, вироблюваних з сигналом, показана на рис. 1.1.

Пригадаємо структуру транспортного потоку: він складається з пакетів розміром по 188 байт кожен, в яких міститься передаванна інформація. Після надходження інформації в декодер з пакетів виключається 188-й байт синхронізації, оскільки синхронізація знов формованого потоку даних згодом вводиться окремо. Потім виконується так звана рандомізація даних, тобто їх перемежування по певному псевдовипадковому закону, який, проте, згодом точно відтворюється в приймальному пристрої. Це робиться для того, щоб виключити яку-небудь періодичність у потоці даних, яка може виникнути, наприклад, через вираження статистичних властивостей сигналу зображення. Така періодичність, може перешкодити сформувати рівномірний спектр передаванного сигналу, створюючи в ньому виражені максимуми на частотах, пов'язаних з періодом. Потім до потоку додаються 20 перевірочних байтів коду Ріда-Соломона. Після додавання перевірочних байтів (тепер їх виявляється 187+20=207) виконується перемежування даних, тобто міра, що має на меті понизити наслідки дії перешкод шляхом «перерозподілу» в часі передаваємих символів, слідуючих безпосередньо один за одним. На приймальній стороні, природно, всі перераховані операції повторюються у зворотному порядку, що дозволяє позбавитися від так званих «пакетних» помилок, коли ряд спотворених перешкодою символів йде один за одним. Потім виконується так зване трелісне або, як його інколи називають, решітчасте кодування (Trellis coding), що є різновидом кодування згортковим кодом.

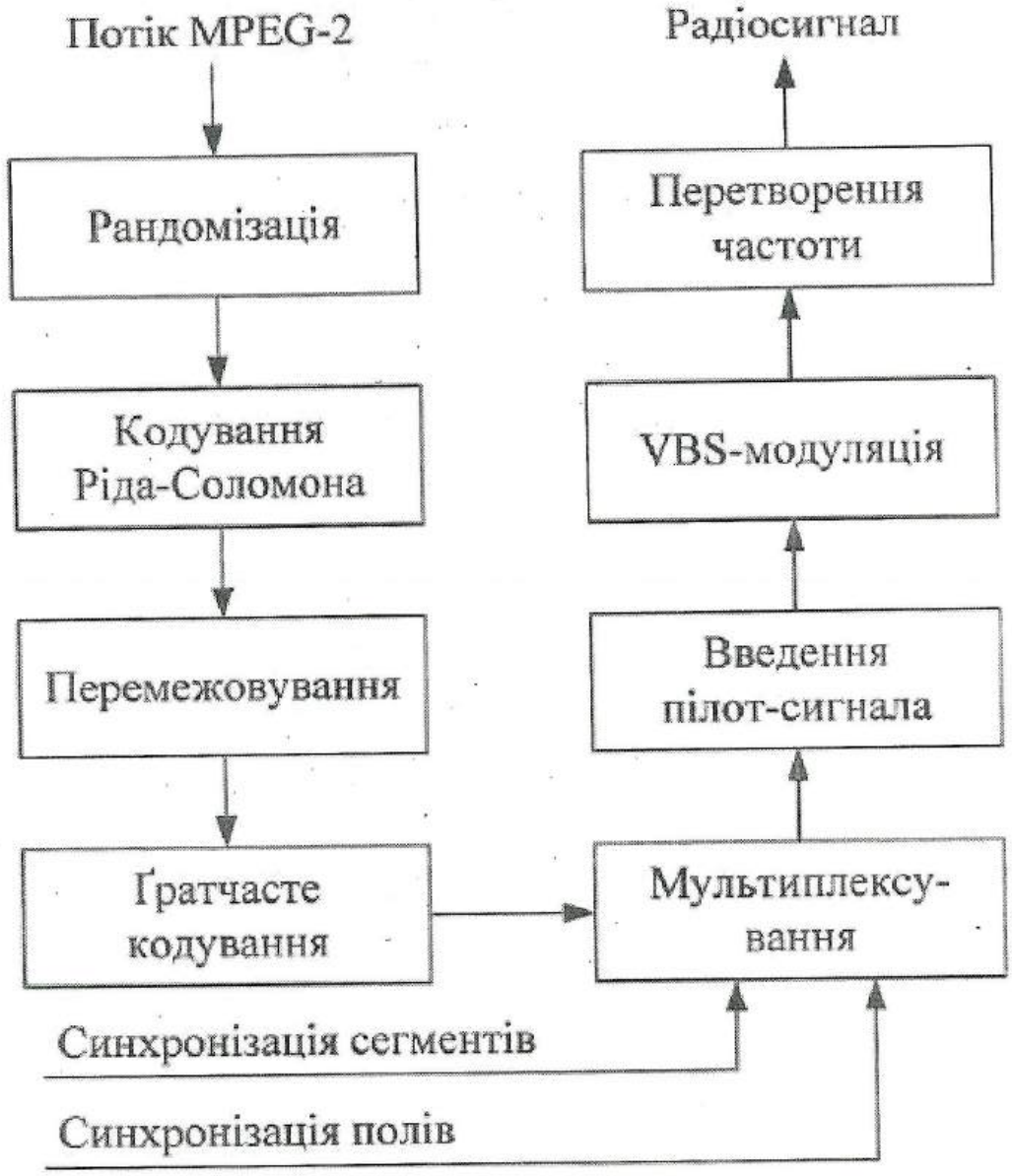


Рисунок 1.1. Формування радіосигнала в системі ATSC

Таке кодування необхідно також для подальшої корекції помилок. Сигнали синхронізації замішуються в цифровий потік шляхом мультиплексування.

Додавання пілот-сигнала здійснюється для того, щоб при будь-якому рівні модулюючого сигналу модуляція не була б чисто балансною, тобто в спектрі сигналу мають бути присутніми не лише бічні частоти, але і ще певною мірою несуча. Це необхідно для полегшення відновлення несучої в приймальному пристрої для синхронного детектування.

Модуляція і перетворення частоти формують радіосигнал, що передається в приймачі.

Структура даних, що утворюється в процесі формування радіосигналу 8-SB, показана на рис.1.2 (структура кадру даних показана на рис.1.3). Вона відрізняється від структури початкового транспортного потоку – дані розділяються на так звані сегменти, що складаються з 832 символів. Частота руху символів складає 10,76 МГц. У 207-байтовому пакеті кожні два біта, завдяки надмірності ґратчастого кодування, перетворяться в три біта, які якраз і визначають, який саме з восьми рівнів і приймає амплітуда сигналу у час передачі одного символу [3].

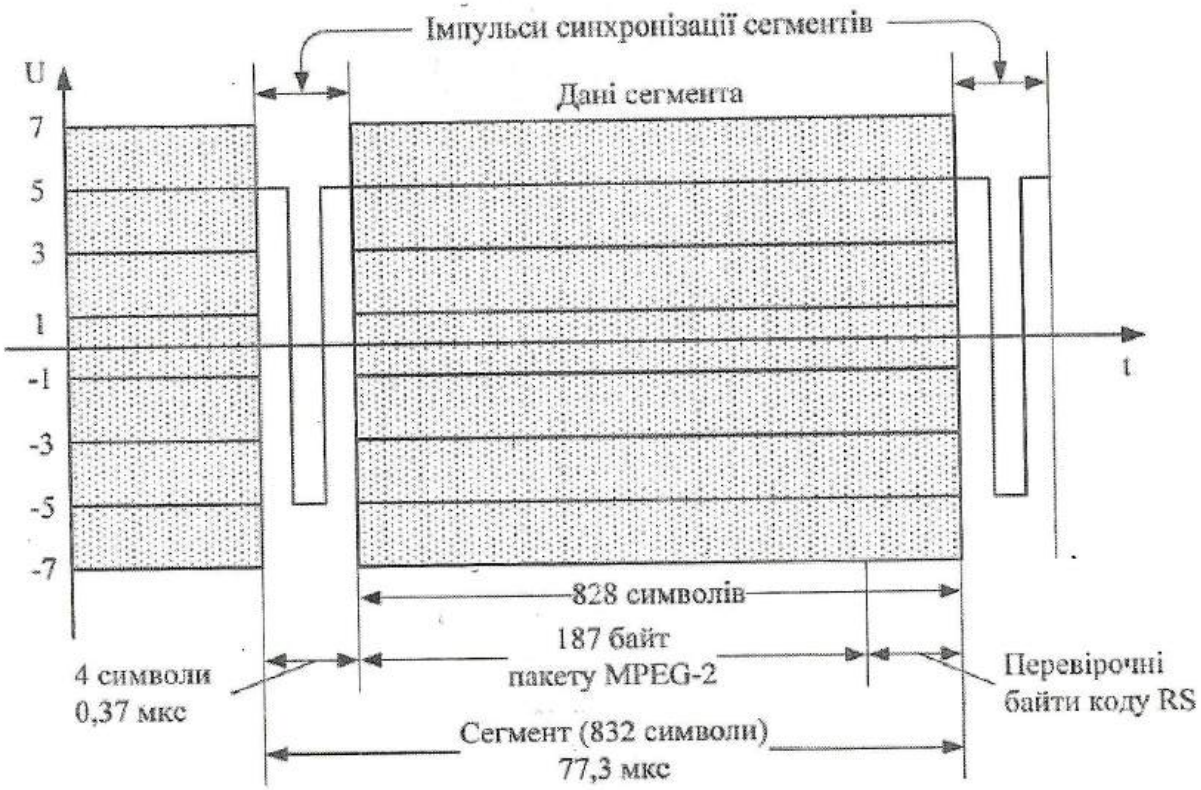


Рисунок 1.2. Структура даних в сигналі 8-VSB в системі ATSC

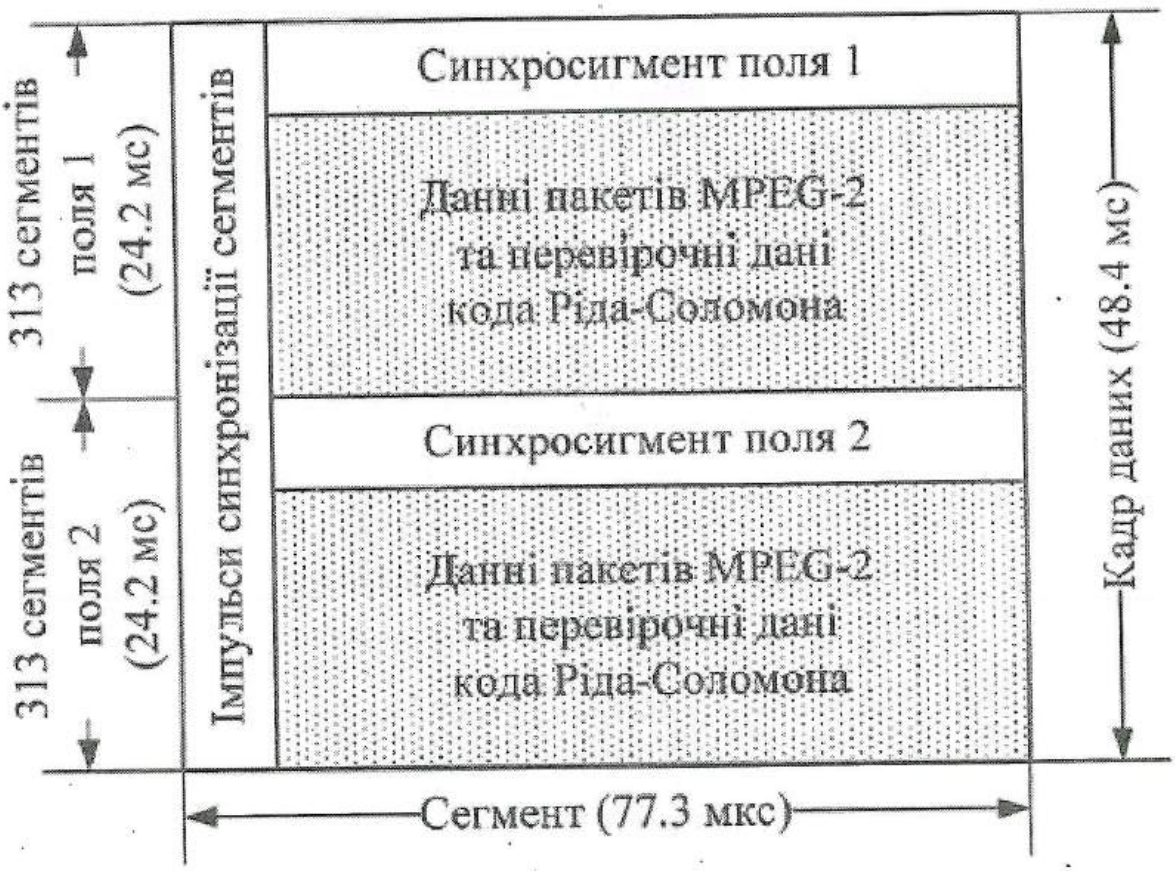


Рисунок 13. Структура кадру при модуляції 8-VSB в системі ATSC

У сигнал додається також сегментна синхронізація, тривалість сигналу якої складає чотири символи і являє собою структуру, що періодично повторюється, з номерами рівнів сигналу +5 і -5. Це дозволяє легше визначити межі сегменту і відновити в приймачі частоту дотримання символів. Введення сигналу синхронізації не знижує ефективності передачі інформації, оскільки він замінює собою байт синхронізації транспортного потоку з номером 188, який вилучається в процесі обробки.

Група з 312 сегментів, доповнена синхросегментом, утворює поле даних, а два поля по 313 сегментів - кадр даних. Структура кадру даних показана на рис.1.3.

У сигнал синхронізації полів додається додаткова інформація, наприклад про вигляд використовуваної модуляції, а також інша інформація для забезпечення процесу декодування.

У системі ATSC також прийняті заходи (режекторна фільтрація) для зменшення перешкод від нерівномірного спектру передавачів аналогової системи NTSC, що працюють в тому ж каналі. Такий захід, втім, носить тимчасовий характер.

Федеральна комісія із зв'язку США стандартизувала 18 можливих параметрів відтворення зображення в системі цифрового ТВ мовлення (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Параметри розгорток

Розмір кадру, число	Співвідношенн	Частота
1920x1080	16:9	60 і, 30 р,
1280x720	16:9	60 р, зор, 24
704x480	16:9, 4:3	60 р, 60 і, зо
640x480	4:3	60 р, 60 і, зо
р - прогресивна розгортка; і - черезрядкова		

При цьому так звані AFD-декодери (All Formal Decoder, AFD) здатні декодувати зображення в будь-якому з перелічених в таблиці форматі. Проте існують також декодери, дозволяючи декодувати і відтворювати зображення, що передається з меншою чіткістю і з меншою частотою кадрів. Крім того, з 18 форматів допустимими в даний час вважаються наступні: 1280x720 і 704x480 елементів зображення при прогресивній розгортці. З форматів з черезрядковою розгорткою дозволений формат 704x480 елементів. Він збережений, в основному, ради забезпечення сумісності з технікою і відеоматеріалом, створеними відносно до стандарту NTSC.

Система ТВ мовлення ATSC передбачає використання виду модуляції і структури передаванних даних (сегмент, поле), традиційних для сучасного аналогового телебачення. При цьому цифровий потік, передаваний по стандартному каналу ТВ мовлення, виявляється достатнім для передачі ТВ

зображення високої чіткості. В той же час система має недостатню завадозахищеність передаванного сигналу, особливо в складних умовах поширення радіохвиль, коли на умови прийому сигналу впливають відбиті сигнали. Цей недолік удалося усунути розробникам європейською системи ТВ мовлення DVB.

1.3 Система DVB

Зі всіх варіантів європейської системи ТВ мовлення - для супутникового, кабельного і наземного (ефірного) ТВ мовлення - найбільші складнощі в практичній реалізації були в системі наземного ТВ мовлення DVB-T, що і затримало її впровадження в практику. Саме цю систему слід розглянути детальніше, оскільки завдяки своїм оригінальним технічним рішенням, дозволившим забезпечити перешкодостійкий прийом сигналу в різних умовах, система DVB-T у ряді випробувань показана свої переваги в порівнянні з іншими системами цифрового ТВ мовлення.

Структурна схема обробки сигналу показана на рис.1.4.

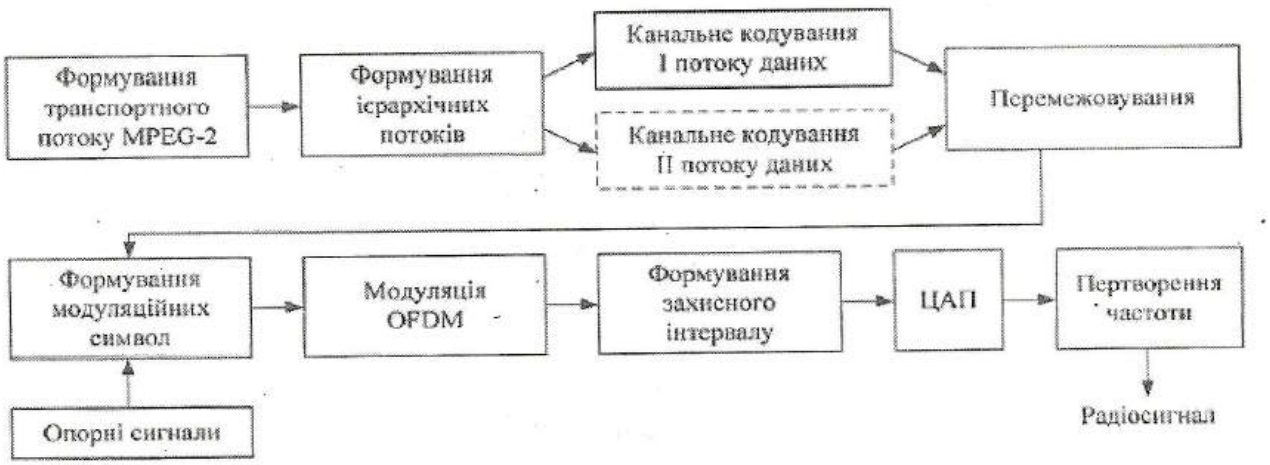


Рисунок 1.4. Алгоритм формування радіосигналу в ТВ системі DVB-T

Одна з особливостей системи DVB-T - так звана «ієрархічна» передача і прийом інформації. Це технічне рішення пов'язане із спеціальним вибором способу модуляції і дозволяє споживачеві прийняти зображення в такій якості, яке дозволяють умови прийому і якість приймача. Транспортний потік, відповідний стандарту MPEG-2, «розщеплюється» на виході мультиплексора на два незалежних потоки, що відрізняються пріоритетом. Потік вищого пріоритету кодується і передається за умови забезпечення високої завадозахищеності, а потік низького пріоритету - з нижчою завадозахищеністю, але з вищою швидкістю передачі даних. На рисунку його шлях позначено штриховою лінією. Рандомізація, а також зовнішнє і внутрішні перемежування призначені для захисту від помилок передачі. Всі ці заходи дозволяють довести частоту помилок на вході демультиплексора MPEG-2 до значення порядку 10^{-11}, що відповідає практично безпомилковій роботі [4].

Характерною особливістю системи DVB-T є прийнятий спосіб модуляції OFDM, що передбачає використання великого числа несучих частот. Це дозволяє ефективно боротися з сигналами луни, оскільки час передачі кожного символу на одній несучій може бути збільшено.

Для формування сигналів великої кількості несучих частот, використовують добре відпрацьовані алгоритми швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

У більшості таких алгоритмів розмір масиву, що піддається перетворенню, кратний цілій ступені числа 2. Тому використовується розмір масиву, рівний 8192=8k - або 2048=2k: (тут k=210=1024). На практиці число несучих виявляється менше, частина несучих не використовується, оскільки між частотними областями, займаними сусідніми каналами, має бути залишений деякий зазор. У двох режимах, що існують в даний час,

використовується 6817 і що 1705 несучих, проте за розміром масиву ШПФ системи модуляції називаються відповідно 8k OFDM і 2k OFDM.

Сигнал, що отримується в системі ТВ мовлення при такому способі модуляції, складається з великого числа модульованих несучих. Кількість інформації, що переноситься однією несучою за час передачі одного символу OFDM, залежить від способу модуляції - це 2 біта для квадратурної фазової маніпуляції. 4 біта для квадратурної амплітудної модуляції 16-QAM і 6 бітів для модуляції виду 64-QAM.

Сигнал, що передається складається з кадрів, кожен з яких містить 68 символів OFDM. Чотири кадри утворюють суперкадр, що містить ціле число пакетів завдовжки 204 байти (рандомомізованих транспортних пакетів MPEG-2, забезпечених для захисту від помилок перевірочними байтами коди Ріда-Соломона).

1.4 Система ISDB

Система цифрового наземного ТВ мовлення ISDB-T розроблена в трьох варіантах стосовно існуючих стандартних каналів наземного ТВ мовлення з номінальною смугою частот 6, 7 або 8 МГц.

У системі ISDB-T застосовується модифікована схема багаточастотної модуляції з ортогональним частотним розподілом мультиплексуванням (OFDM), що допускає передачу цифрового потоку в декількох смугах частот (OFDM сегментах) і називається BST-OFDM (частотно-сегментована передача за схемою OFDM). Як методи модуляції можливі DQPSK, QPSK, 16-QAM і 64-QAM. У системі закладено два режими прийому: повномірний широкосмуговий (декілька базових сегментів використовуються переважно для мовлення ТВ програм і великого об'єму даних) і частковий

вузькосмуговий (один базовий сегмент для мовлення звукових програм і адекватних потоків даних).

Частковий прийом в системі ISDB-T є її оригінальною властивістю, що відрізняє від інших систем ЦНТБ. Він передбачає використання спрощеного вузькосмугового приймача, розрахованого на прийом в смузі лише одного сегменту OFDM. Такий приймач може використовуватися в ношеному варіанті для прийому звукових програм і телематичної інформації. Варто відмітити, що при частковому прийомі абонент отримує частину загального транспортного потоку, розподіленого по повному числу сегментів. Таким чином, вузькосмуговий приймач може приймати ряд служб з окремо передаванного сегменту або з центрального сегменту групи, а широкосмуговий приймач може приймати всі служби з сегментів, що входять в допустиму смугу системи.

Залежно від необхідних умов прийому система може працювати в наступних трьох режимах:

1 - для прийому сигналів рухливими приймачами;

2 - для прийому сигналів як рухливими, так і стаціонарними приймачами;

3 - для фіксованих служб, що використовують одночастотні мережі.

Деякі пристрої в системі ISDB-T аналогічні по структурі і параметрам відповідним пристроям в системі DVB-T, що сприяє певній гармонізації обох систем, особливо приймачів-декодерів. До таких пристроїв належать зовнішній кодер Ріда-Соломона, скремблери, перемежовувачі і внутрішні згортальні кодери.

У системі ISDB-T транспортні потоки, що підлягають передачі, сформовані відповідно до вимог стандарту MPEG-2, спочатку піддаються демультиплексуванню - перетворяться в групи даних, що називаються сегментами даних. Кожен з них кодується коректуючим кодом, після

чого перетвориться в модульований OFDM-сегмент, до якого додаються пілот-сигнал та службові сигнали про схему мультиплексування і модуляції і для правильної демодуляції і управління конфігурацією декодування. Параметри коректуючого коду, глибина часового перемежування, тип первинної модуляції несучої і довжина захисного. інтервалу вибираються для кожного сегменту. Для передачі якої-небудь служби з великим об'ємом даних відводиться необхідне число сегментів. Така компоновка спектру і параметрів передач дозволяє легко адаптувати систему до різних каналів і видів обслуговування. У системі передбачається три рівні ієрархічного прийому. Все це разом узяте допускає відвести частину смуги, наприклад, для прийому ТВ програм на стаціонарні приймачі, а частину смуги, що залишилася, - для прийому звукових сигналів і даних на мобільні і ношені приймачі.

Для отримання режиму передачі за схемою BST-OFDM з різними ієрархічними рівнями визначається кадр мультиплексу. У нім транспортний потік це безперервний потік транспортних пакетів, що мають загальну довжину 204 байти, з яких 16 байтів є перевірочними байтами коди Ріда-Соломона, або нульовими байтами. Тривалість кадру мультиплексу підстроюється під тривалість кадру OFDM шляхом підрахунку числа пакетів з використанням тактової частоти в 4 рази вищою, ніж частота відліків ШПФ. Конкретне число транспортних пакетів в одному кадрі OFDM залежить від виду модуляції і швидкості згортального коду, тобто числа значущих позицій в просторі сигналу, що і приведено в табл.1.2.

Таблиця 1.2.

Число транспортних пакетів в кадрі BST-OFDM

Вигляд модуляції	Швидкість	Число транспортних пакетів,
DQPSK QPSK	1/2	12/24/48
	2/3	16/32/64
	3/4	18/36/72
	5/6	20/40/80
	7/8	21/42/84
16-QAM	1/2	24/48/96
	2/3	32/64/128
	3/4	36/72/144
	5/6	40/80/160
	7/8	42/84/168
64-QAM	1/2	36/72/144
	2/3	48/96/192
	3/4	54/108/216
	5/6	60/120/240
	7/8	63/126/252

Структурна схема підсистеми кодування для каналу в системі ISDB-T показана на рис.1.5.

Особливість цієї підсистеми - три окремі тракти рандомізації і внутрішнього кодування, що забезпечують необхідну обробку даних для кожного з трьох ієрархічних режимів передачі. Транспортні пакети з виходу зовнішнього кодера комутуються на вхід того, або іншого тракту в залежності від встановленого пріоритету. Блоки корекції затримки необхідні для вирівнювання різних часів затримки, обумовлених

процесами перемежування в трактах з різними пріоритетами (видами модуляції і кодовими швидкостями).



Рисунок 1.5. Структурна схема підсистеми кодування для каналу в системі ISDB-T

2 ПАРАМЕТРИ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ DVB-T

2.1Загальна характеристика і структура системи DVB-T

Система цифрового наземного ТБ мовлення DVB-T визначається як функціональний блок обладнання, що забезпечує адаптацію цифрового ТВ сигналу, представленого в основній смузі частот на виході транспортного мультиплексора MPEG-2, з характеристиками стандартного наземного радіоканалу мовлення, що має ширину смуги частот 8 МГц [5].

Оскільки система DVB-T, як і будь-яка інша система ЦНТБ, має використовувати існуючі частотні плани і протягом достатньо тривалого перехідного періоду забезпечувати мовлення поряд з аналоговими діючими ТВ системами, вона повинна володіти необхідною перешкодозахищеністю з боку аналогових систем і не повинна створювати неприпустимих перешкод для них.

Для забезпечення всіх необхідних вимог по адаптації потоку даних до радіоканалу мовлення у складі передавального комплекту системи DVB-T є пристрої кодування, мультиплексування і модуляції. Структурна схема підсистеми адаптації до каналу наземного мовлення показана на рис.2.1. На тому ж рисунку спрощено показана також підсистема кодування джерел інформації і їх мультиплексування в транспортний потік.

Вихід транспортного мультиплексора є точкою стику підсистем формування і передачі транспортних пакетів. Таким чином, вхідним сигналом тракту адаптації є потік транспортних пакетів фіксованої довжини 188 байт, з яких один (перший) байт служить для циклової синхронізації. Для більш рівномірного розподілу енергії радіосигналу в смузі каналу вхідний

потік піддається рандомізації (скремблюванню). Система DVB-T має два ідентичних по структурі тракту рандомізації і завадостійкого кодування. Така побудова дозволяє використовувати ієрархічні методи незалежного кодування двох потоків даних для організації їх пріоритетного прийому в зонах мовлення з різною площею покриття. Загальна частина тракту підсистеми адаптації служить для перетворення потоків даних в комбінації бітів, що відповідають модульованим посилкам, введення сигналів циклової синхронізації і керування, формування захисних часових інтервалів, перетворення цифрових сигналів в модульований груповий спектр COFDM, перенесення його в смугу каналу мовлення, підсилення і випромінювання в ефір.

Побудова підсистеми кодового захисту в системі DVB-T виконано по традиційному для систем ЦНТБ каскадному принципу. Для захисту від помилок в демодульованому сигналі COFDM, служить внутрішній згортальний кодек з набором різних кодових швидкостей і блок внутрішнього перемежування - деперемежування бітів, що відноситься до нього. Для виправлення пакетів помилок і додаткового зниження ймовірності помилки в декодованому сигналі служить зовнішній кодек Ріда-Соломона зовнішній перемежовувач - депермежовувач байтів транспортного потоку.

При розробці підсистеми кодування для каналу в системі DVB-T були максимально враховані вимоги близькості структури і параметрів до супутникової (DVB-S) і кабельної (DVB-C) систем. Так, схеми зовнішнього кодування і зовнішнього перемежування є однаковими у всіх трьох системах DVB. Схеми внутрішнього кодування і рандомізації (скремблювання) відповідають супутниковій системі DVB-S.

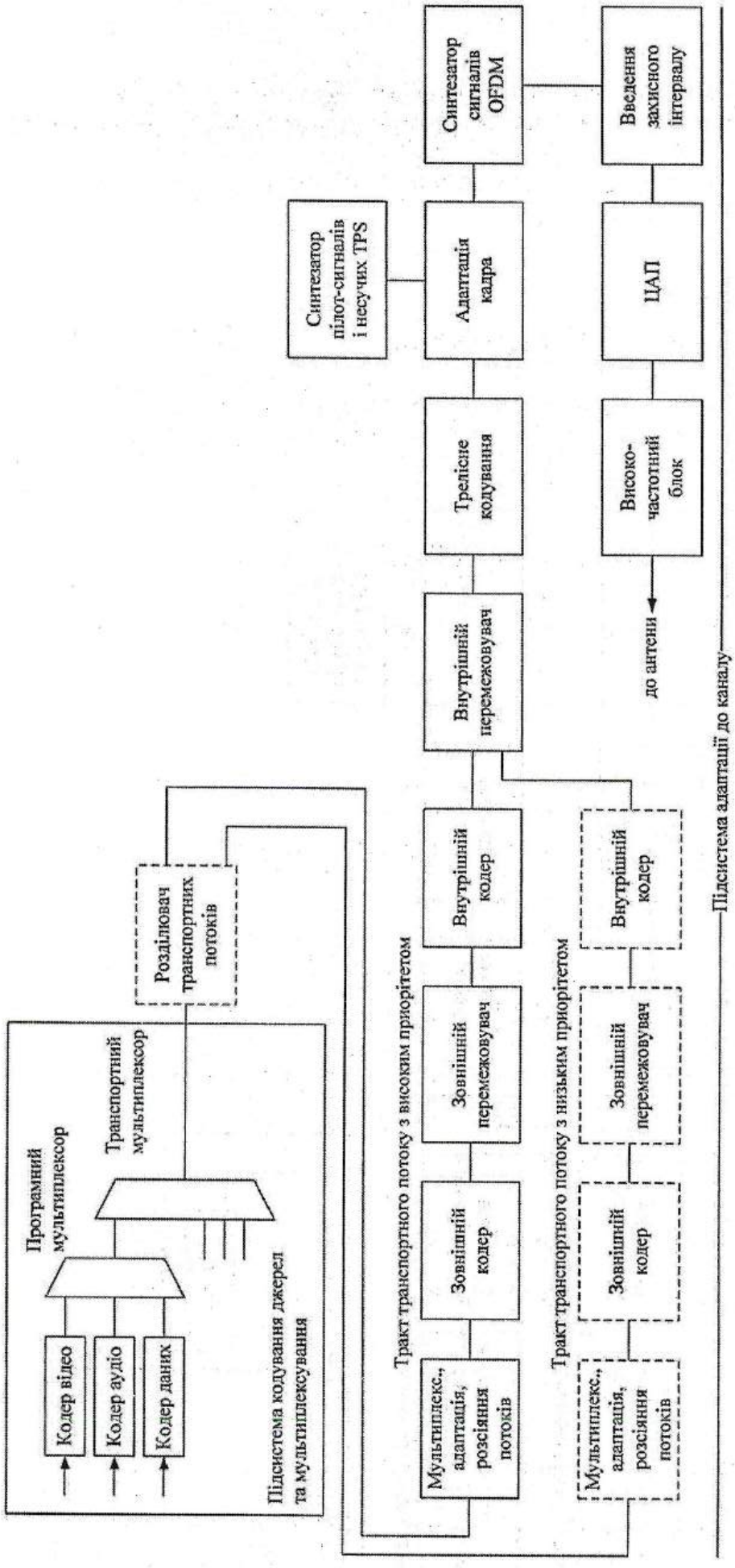


Рисунок 2.1. Структурна схема передавальної частини системи DVB-T

2.2. Стискування телевізійного сигналу

В сучасних системах цифрового ТБ для кодування і обробки джерел інформації використовують групу алгоритмів, що мають загальну назву стандарти MPEG-2.

Стандарти MPEG-2 це не точні стандарти реалізації апаратних засобів, а швидше основоположний опис шляхів мультиплексування набору стислих сигналів: відео, аудіо і даних в потік призначених для передачі цифрових пакетів. Ця стандартизація кодування, у свою чергу, передбачає і робить можливим стандартизацію апаратних засобів і функцій декодера. Велика гнучкість стандартів MPEG-2 дає можливість проектувати цифрові ТВ системи різного призначення і якості. Діапазон цих систем тягнеться від комп'ютерної відеотелефонії до ТВЧ. Відповідно призначенню систем змінюються вимоги до швидкостей передачі цифрових потоків, об'ємів пам'яті декодерів, швидкодії процесорів і іншим апаратно-програмним ресурсам.

При перетворенні кольорового ТВ сигналу з аналогової в цифрову форму згідно Рекомендації МСЕ-Р ВТ.601 використовується частоти дискретизація і формуються цифрові потоки, приведені в табл. 2.1. Відповідна структурна схема кодуючого пристрою показана на рис. 2.2.

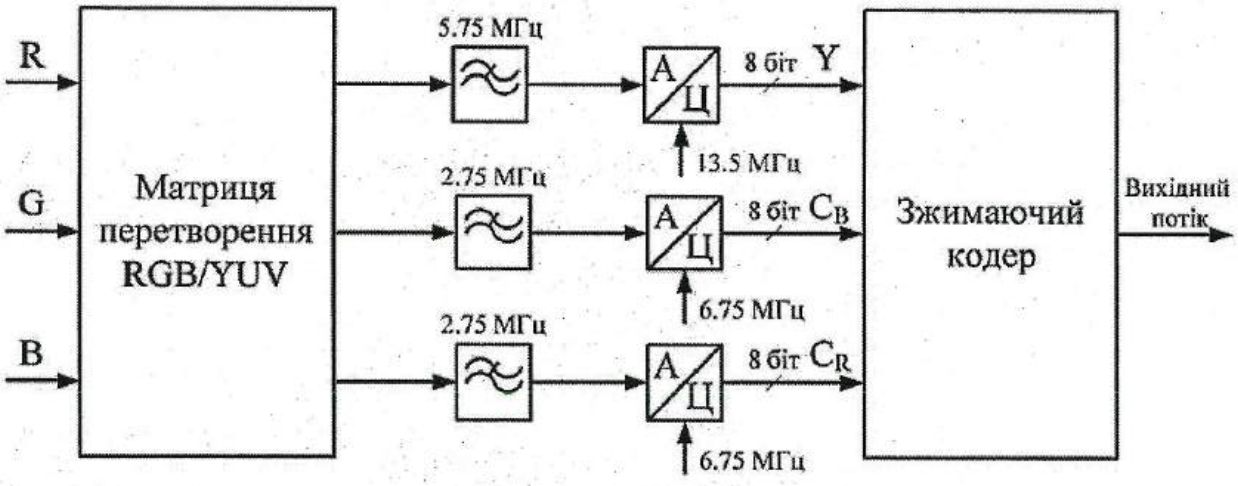


Рисунок 2.2. Структурна схема кодера зображень

Дані таблиці 2.1 показують, що в результаті аналогово-цифрового перетворення кольорового ТВ сигналу результуючі потоки бітів і потрібні для їх передач смуги частот дуже великі, і потрібне скорочення надмірності (стискування сигналу). Загальноприйнятим методом стискування в даний час є алгоритми стандарту MPEG-2, що дозволяють понизити швидкість бітів кодового сигналу до 5-10 Мбіт/с.

Таблиця 2.1.

Основні показники при кодуванні тв сигналу

Компоненти і параметри сигналу	Позначення	Частоти дискретизації і швидкості передачі
Сигнал яскравості	Y	13,5 МГц (8 біт х 13,5 = 108 Мбіт/с)
Кольорізнісний сигнал B-Y	C_B	6,75 МГц (8 біт х 6,75 = 54 Мбіт/с)
Кольорізнісний сигнал R-Y	C_R	6,75 МГц (8 біт х 6,75 = 54 Мбіт/с)
Повне число відліків в секунду	S	13,5 + 6,75 + 6,75 -27,000 Мвідліків/с
Повна швидкість передачі бітів при кодуванні з 8 бітами/відліками (з 256 можливих рівнів квантування лише 220 використовуються для відображення сигналу яскравості)	R_B	27Мвід./с х 8 біт = 216 Мбіт/с
Необхідна смуга частот каналу (при двійковій передачі в смузі Найквіста)	B_N	108 МГц
Повна швидкість передачі бітів при студійному кодуванні з 10 бітами/відліками	RB	27х10=270 Мбіт/с
Необхідна смуга частот каналу (при двійковій передачі в смузі Найквіста)	B_N	135 МГц

Техніка стискування кодованих зображень ґрунтується на скорочені наступних видів надмірності [6]:

- просторова надмірність: значення елементів зображення (пікселів) є не незалежним, а корельованим в межах деякої області

зображення, тобто можна передати значення одного пікселя, а значення інших - передбачити;

- часова надмірність: кореляція між пікселями зберігається і в послідовності декількох кадрів зображення, тобто техніка передбачення і компенсації руху може бути поширена на декілька кадрів;
- надмірність ентропії: сигнал, що безперервно змінюється, квантується, тобто замінюється сигналом, що дискретно змінюється, а для кодування квантованих рівнів використовується кодування Хаффмана, при якому довжина кодової комбінації обернено пропорційно залежить від частоти появи рівнів;
- психовізуальна надмірність: око нездатне розрізняти дуже дрібні деталі в високочастотні колірні переходи.

У кодері MPEG-2 спочатку обробляються фрагменти зображення (блоки) розміром 8x8 пікселів, що несуть інформацію про яскравість або колірність. Блоки яскравості організовуються в макроблоки, що складаються з чотирьох блоків (мають розмір 16x16 пікселів). Якщо з кожним макроблоком зв'язані по одному блоку кольорорізницевих сигналів C_R і C_B, то має місце формат колірної дискретизації 4:2:0. Якщо ж число колірних блоків рівне чотирьом (по два блоки для кожного з кольорорізницевих сигналів C_R і C_B), то має місце формат колірної дискретизації 4:2:2. Один або більше суміжних макроблоків групуються разом і утворюють слайс (вирізку даних з масиву).

Первинною кодованою одиницею зображення є кадр, що складається з групи слайсів, складових активну область зображення. Для скорочення просторової надмірності в межах одного кадру при кодуванні створюється так званий I-кадр, що містить всю інформацію, необхідну для декодування зображення. В разі збою або перешкод в каналі I-кадри дозволяють відновити процес правильного декодування. Для підвищення міри стискування I-кадри

передаються приблизно один раз в 12 кадрів. У останній час передаються Р-кадри і В-кадри, значення яких передбачені: для Р-кадрів - виходячи із значень попередніх І-кадров і Р-кадрів, а для В-кадрів - виходячи із значень передуючих і подальших І-кадрів і Р-кадрів.

Щоб декодер міг правильно відновити інформацію, потрібно передавати також додаткову службову інформацію. Для цього кожен кадр забезпечується заголовком, а ряд взаємозв'язаних І-, Р-, В-кадрів об'єднується в групу кадрів (GOP), яка також забезпечується заголовком. Отримана структура даних називається елементарним потоком даних. У послідовності GOP спочатку слідують І-кадри і Р-кадри, а потім В-кадри, які реконструюються декодером з раніше прийнятих І- і Р-кадров. Оскільки послідовність передачі кадрів не збігається з послідовністю їх відтворення, то на рівні пакетованного елементарного потоку додаються часові мітки декодування (DTS) і вистави (PTS), які несуть інформацію про необхідні моменти часу декодування і відображення кадрів.

Таким чином, в процесі кодування створюється складна шестирівнева ієрархічна структура: блок - макроблок - слайс, кадр - група кадрів - послідовність кадрів (рис. 2.3).

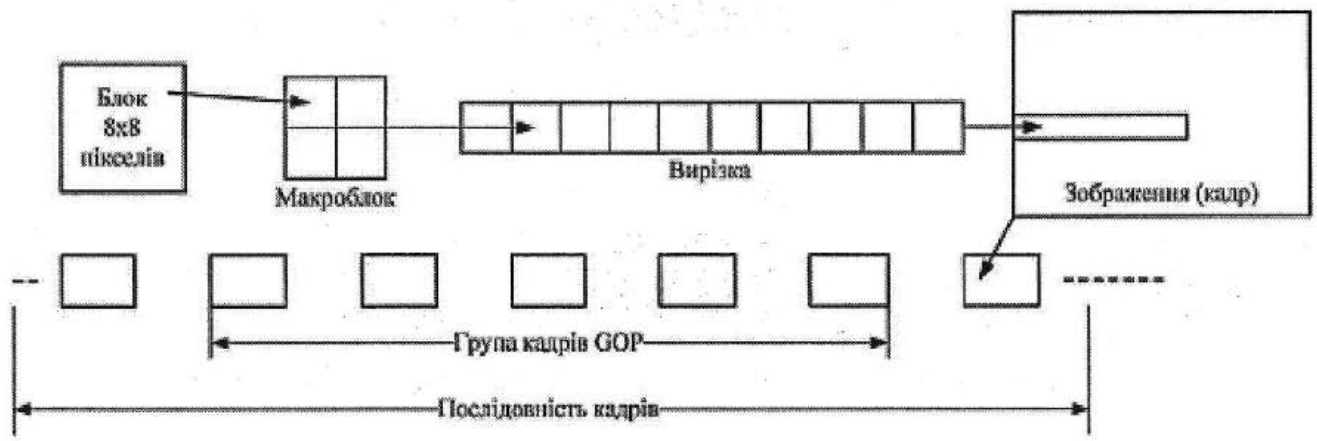


Рисунок 2.3. Ієрархічна структура кодування MPEG-2

При практичній реалізації кодування за стандартом MPEG-2 в більшості випадків прагнуть забезпечити режим багатопрограмного мовлення. При традиційній організації багатопрограмного мовлення пропускна спроможність каналу ділиться між декількома програмами деяким фіксованим чином. Це передбачає використання постійної швидкості передачі бітів для кожної програми. Відомо, що значення швидкості передачі інформації, необхідне для досягнення бажаної якості зображення, залежить від вмісту зображення. Тому для ефективного використання пропускної спроможності каналу застосовують метод статистичного мультиплексування, що забезпечує кодування із змінною швидкістю бітів для кожного з джерел при незмінній загальній швидкості передачі, що не виходить за кордони пропускної спроможності каналу.

Стандартні кодери MPEG-2 підтримують режим кодування із змінною швидкістю вихідних даних, наприклад, для цифрового ТВ сигналу стандартно якості (SDTV) швидкість передачі може лежати в межах 2-15 Мбіт/с.

Для реалізації методу статистичного мультиплексування необхідні лінії двосторонньої передач даних між кодерами програм і системним мультиплексором. Наявність зворотного зв'язку від мультиплексора до індивідуальних програмних кодерів дозволяє адаптивно змінювати коефіцієнт стискування і швидкість бітів в потоках окремих програм при постійній швидкості мультиплексованого групового потоку.

Існують два міжнародні стандарти кодування і стискування звуку: MPEG-1 і MPEG-2. Система багатоканального кодування звуку із стискуванням за стандартом MPEG-2 є розширенням одноканальної стереозвукової системи MPEG-1 і має з нею пряму і зворотню сумісність. Пряма сумісність означає, що багатоканальний декодер MPEG-2 може декодувати моно- і стереосигнали системи MPEG-1. Зворотна сумісність означає, що декодер MPEG-1 може відтворювати певну змістовну частину

інформації системи MPEG-2. Для того, щоб забезпечувати пряму і зворотну сумісності кодер і декодер MPEG-2 містять як складові елементи кодер і декодер MPEG-1, що показане на рис. 2.4.

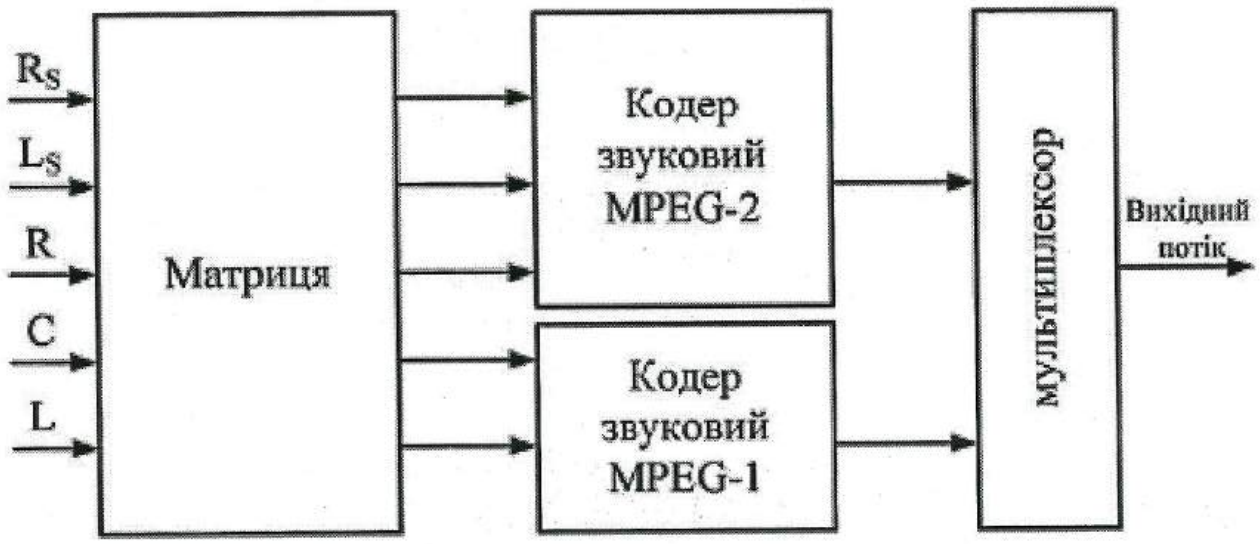


Рисунок 2.4. Структурна схема кодека звуку

Система MPEG-2 забезпечує [7]:

- п'ять високоякісних звукових каналів плюс один канал низькочастотної корекції (ця схема позначається 5.1), гарантуючи, що існуючі декодери з двома каналами будуть здатні декодувати сумісну стереоінформацію;
- багатомовну звукову підтримку у вигляді семи додаткових коментаторських каналів;
- швидкості передачі стислих звукових даних: для монофонічних сигналів потоки бітів з швидкостями в діапазоні 32-192 кбіт/с і для стереофонічних сигналів - 64-384 кбіт/с;
- кодування в широкому діапазоні частот дискретизації звукового сигналу: 16; 22,05; 24; 32; 44,1; 48 кГц.

Залежно від об'єму даних, передаванних в мультиплексованому потоці бітів, можна організувати 1-5.1 каналів. Для опису числа передаванних каналів зазвичай використовується позначення вигляду F/S, де F - число "фронтальних" каналів і S - число "тильних" каналів. Стереослужба позначається як 2/0, тоді як служба з повними 5.1 каналами може бути позначена як 3.1/2 або 3+/2. Механізми стискування дозволяють сформувати потоки бітів всього лише від 32 кбіт/с для послуг типу мова/діалог; до 384 кбіт/с для відтворення звуку за допомогою 5.1 каналів. Система забезпечує передачу одного або двох незалежних звукових сигналів, а також матрицованих сигналів, які можуть містити L, C, R (лівий, центр, правий) і кругові звукові сигнали. Опції кругового звуку включають одиночний канал (S) або звукову пару кругових каналів (SL - тильний лівий, SR - тильний правий). До будь-якого з матрицованих сигналів може бути доданий сигнал низькочастотної корекції (LFE).

Канал LFE має обмежений діапазон частот: 20-120 Гц і дозволяє слухачеві розширити низькочастотний вміст звукового формату по частоті і рівню. Цей канал по суті дублює канал субнизкочастотного гучномовця, використовуваний в звукових форматах цифрових фільмів. Канал LFE може бути кодований з низькою швидкістю бітів, що наголошується у вигляді ".1" в позначенні "5.1" або "+" в позначенні "5+".

Система MPEG-2 побудована так, що термінал слухача (ТВ приймач, комп'ютер, і тому подібне) розпізнає число і вигляд кодованих і декодованих звукових каналів і відтворює звукові сигнали відповідно числу гучномовців.

2.3 Рандомізація даних

Щоб забезпечити розсіювання енергії і близьку до випадкової статистику переходів між бітами потоку, вхідний системний потік MPEG-2 має бути рандомізований. Вхідний потік бітів організований у вигляді транспортних пакетів фіксованої довжини 188 байт, які з входу системи поступають в блок циклової синхронізації і рандомізації. Кожен транспортний потік містить 1 байт слова синхронізації і 187 байтів мультиплексованих даних. Байти даних слідують старшим розрядом вперед. Байт синхронізації не скремблюється, його значення (01000111) інвертується в кожному восьмому транспортному пакеті і служить відміткою циклу з восьми пакетів.

Для рандомізації використовується адитивний 15-розрядний скремблер (аналогічний пристрій виконує також функції дескремблера в приймачі), структурна схема якого показана на рис. 2.5.

У генератор псевдовипадкової двійкової послідовності скремблера використовується генераторний поліном вигляду

$$G(X) = 1 + X^{14} + X^{15} \tag{2.1}$$

Після завантаження в скремблер ініціалізуючої послідовності, генерується псевдовипадкова послідовність (ПВП), яка впливає на групу з восьми транспортних пакетів. Байти синхронізації останніх не скремблюються - в ці моменти вихід генератора ПВП блокується. Для правильної синхронізації дескремблера в приймачі необхідна групова синхронізація: інвертується перший синхробайт в групі з восьми транспортних пакетів.

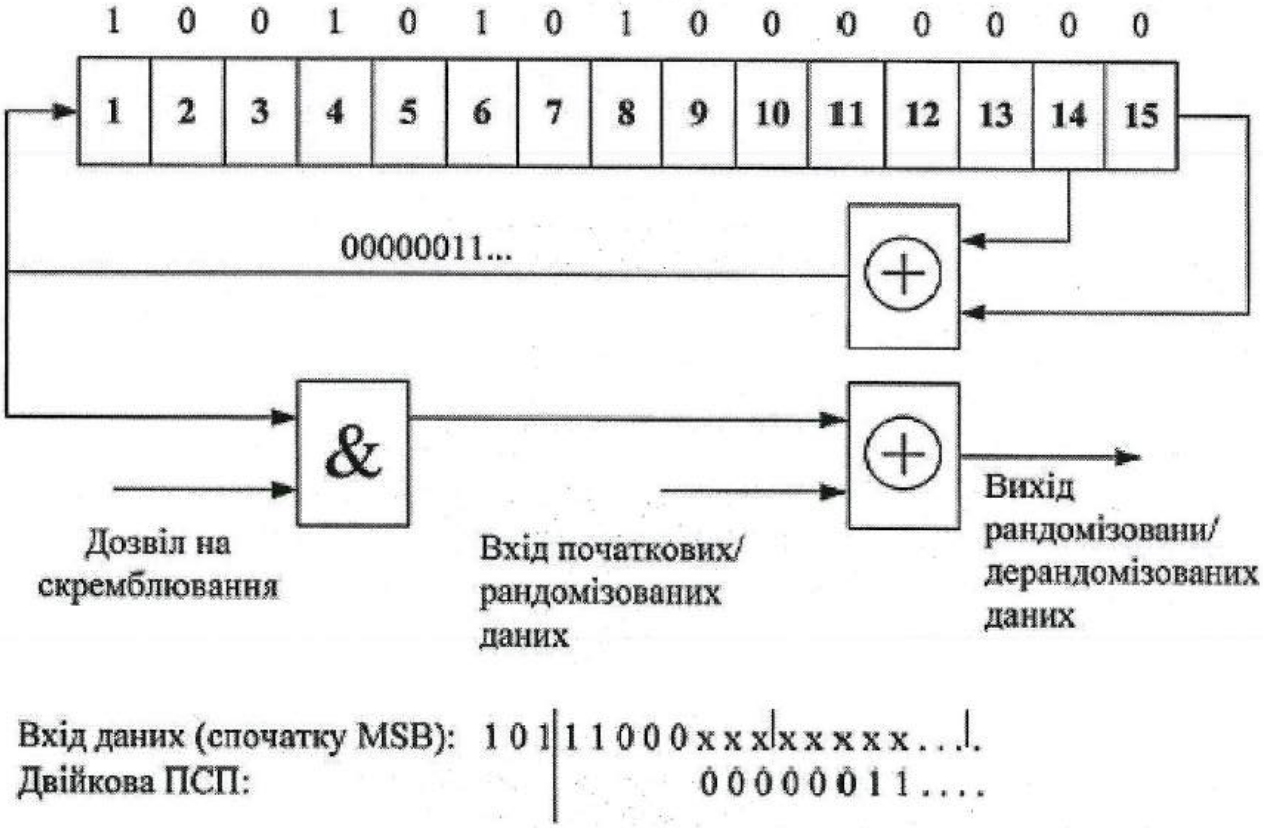


Рисунок 2.5. Структурна схема скремблера-дескремблера в системі DVB-T

2.4 Зовнішнє кодування і перемежування

Зовнішнє кодування транспортних пакетів, які надходять, в системі DVB-T здійснюється скороченим кодом Ріда-Соломона RS (204, 188, t=8), що походить з оригінального систематичного коду RS(255, 239, t=8). Практично скорочення коду забезпечується додаванням на вході кодера RS (255, 239, t=8) групи з 51 нульового байту перед інформаційними байтами транспортного пакету. Після кодування ці нульові байти відкидаються, залишаючи кодове слово завдовжки 204 байти. Кодуванню підлягає повністю транспортний пакет довжиною 188 байт, включаючи його синхробайт (як неінвертований, так і інвертований).

Генераторний поліном скороченого коду Ріда-Соломона має вигляд

$$g(x) = (X + \lambda^0) + (X + \lambda^1) + (X + \lambda^2) + \ldots + (X + 15), \text{ де } \lambda = 02_{\text{HEX}} \qquad (2.2)$$

генераторний поліном поля –

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 \qquad (2.3)$$

Після зовнішнього кодування проводиться операція зовнішнього перемежування в згортальному побайтовому перемежовувачі структури Форні з глибиною перемежовування I=12, структурна схема якого показана на рис.2.6. Для деперемежовування даних в приймачі використовується аналогічна схема. Байти синхронізації пакетів не перемежовуються, вони весь час проходять через перемежовувач по гілці з нульовою затримкою, як показано на структурній схемі рис. 2.6. Затримки в гілках деперемежовувача вибрані так, щоб у всіх положеннях 12-позиційного комутатора сумарна затримка перемежовування- деперемежовування була рівна 17x11 байтів.

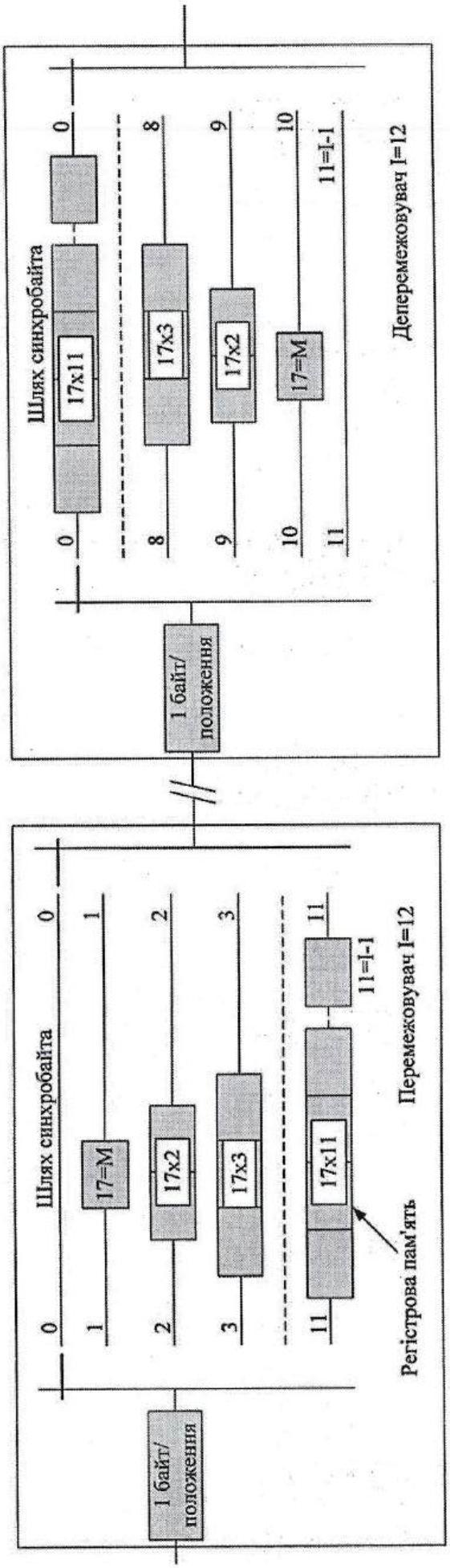


Рисунок 2.6. Структурна схема пристрою для зовнішнього згортального перемежовування-деперемежовування в системі DVB-T

2.5 Внутрішнє кодування

Для внутрішнього кодування в системі DVB-T використовуються виколоті згортальні коди з рядом швидкостей від 1/2 до 7/8. Всі вони виходять з початкового коду, що має швидкість 1/2 з довжиною кодового обмеження К=7, що відповідає 64 станам гратчастої діаграми. Структурна схема згортального кодера показана на рис.2.7. Генераторні поліноми двох його гілок визначаються виразами (у вісімковому коді) G1=171Oct і G2=133Oct.

Як було відмічено, в системі DVB-T є два ідентичних тракти з внутрішніми кодерами. При використанні ієрархічної передачі з двома рівнями пріоритетів в кожному з цих двох каналів кодування може бути встановлена своя власна кодова швидкість.

Фактично слідом за базовим згортальним кодером із швидкістю 1/2, схема якого показана на рис.2.7, встановлений перфоратор, який виконує виколювання кодованої послідовності, видаляючи з неї частину перевірочних бітів. При цьому кодова швидкість зростає до більших значень – 2/3, 3/4, 5/6 і 7/8.

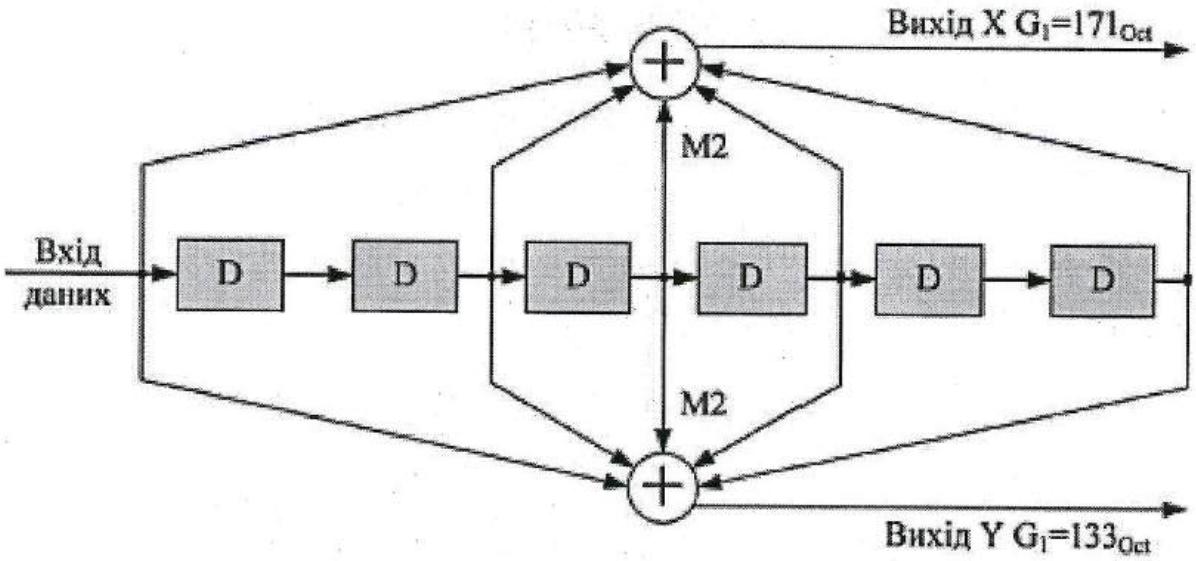


Рисунок 2.7. Структурна схема внутрішнього згортального кодера в системі DVB

Внутрішній перемежовувач розташований на вході єдиного тракту обробки даних, слідуючого за двома паралельними підсистемами кодування. Внутрішній перемежовувач складається з перемежовувача бітів і слідуючого за ним перемежовувача символів. Структура внутрішнього перемежовувача залежить від вибраних ієрархічного режиму і схеми модуляції. Тому приведу для зведення найскладнішу структурну схему, яка відповідає передачі двох ієрархічних потоків і схемі первинної модуляції 64-QAM (для кожної з несучих COFDM) [8].

Схема внутрішнього перемежовувача показана на рис.2.8. На вхід схеми надходять два кодовані потоки даних [x_{00},x_{10},x_{20}...] і [x_{01}, x_{11},x_{21}...]. Вхідні потоки даних демультиплексуються на v підпотоків, де v = 2 для модуляції QPSK, v=4 для 16-QAM і v=6 для 64-QAM. Потік з високим пріоритетом демультиплексується на два підпотоки, а потік з низьким пріоритетом - на (v=2) підпотоки. Якщо використовується неієрархічний режим передачі, то працює лише один канал кодування 1 на вхід перемежовувача з виходу внутрішнього кодера надходить один потік даних [x_0, x_1, x_2...], який демультиплексується на v підпотоків.

Після демультиплексування кожен з підпотоків обробляється окремим перемежовувачем бітів. При перемежовувані залежно від числа v використовується до 6 таких перемежовувачів, що позначаються індексами I0-I5. Перемежовувачі з індексами I0 і I1 застосовуються при QPSK, з індексами I0-I3 -при 16-QAM, з індексами I0-I5 -при 64-QAM.

Перемежуванню піддаються лише корисні дані. Довжина блоку кожного з перемежовувачів постійна і дорівнює 126 бітам, але послідовності перемежування у всіх різні. Процес перемежовування блоків повторюється рівно 12 разів за час одного символу OFDM в режимі 2k або 48 разів в режимі 8k.

Виходи v перемежовувачів в кожному такті групуються в один цифровий символ даних (кодову комбінацію), так що в символі присутній по одному біту від кожного з v перемежовувачів. При цьому біт з виходу перемежовувача з індексом 70 є самим старшим бітом комбінації. Сформовані символи далі піддаються наступному етапу перемежовування (по символах). Це означає, що кожен з символів модулює по випадковій вибірці одну з несучих всієї групи OFDM (1512 несучих в режимі 2k або 6048 несучих в режимі 8k). Перемежування по бітах еквівалентно перемежуванню в час, тоді як перемежування по символах еквівалентно перемежуванню по частоті [9].

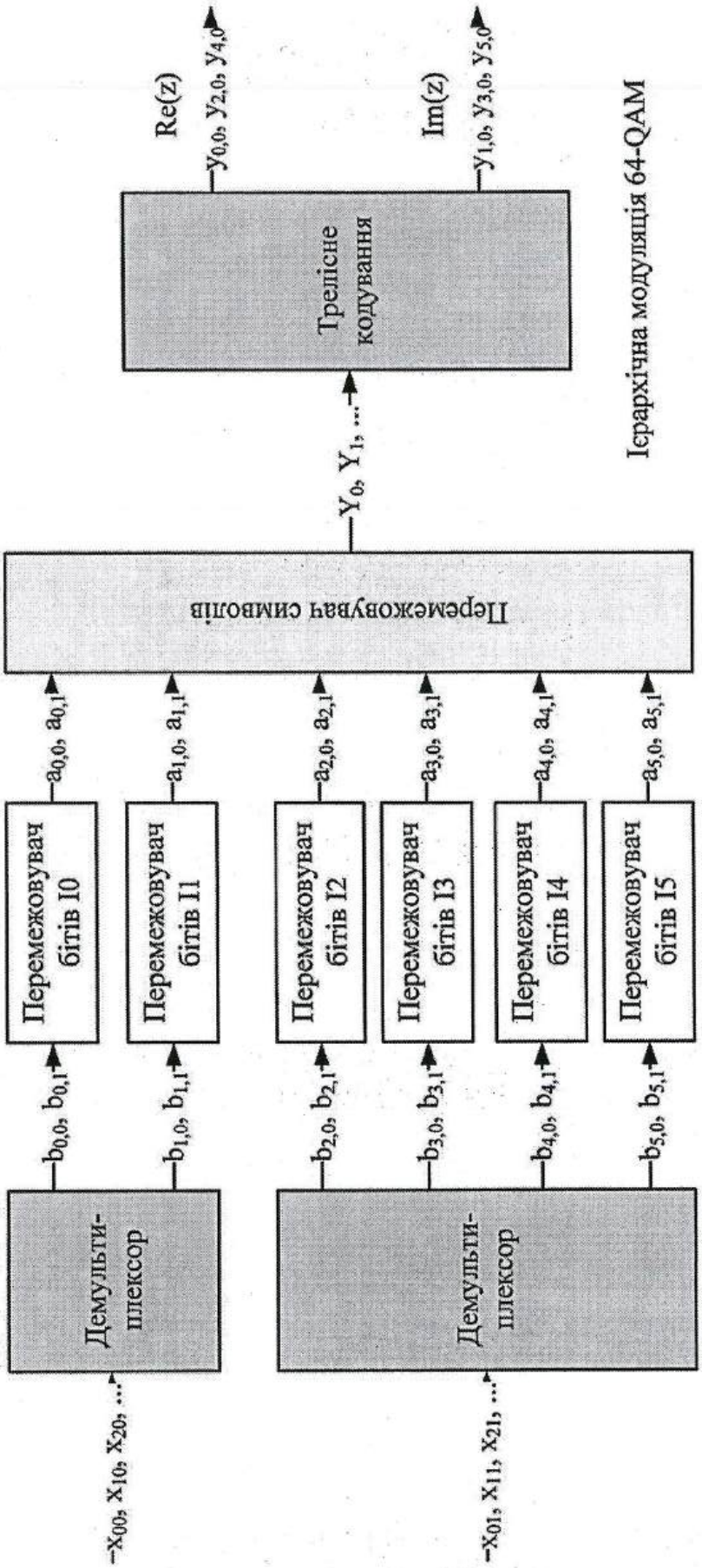


Рисунок 2.8. Структурна схема внутрішнього перемежовувача в системі DVB-T

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СТАНДАРТУ Н.264 ПРИ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОСИГНАЛУ

3.1 Загальна характеристика кодека Н.264

Відео кодер Н.264 виконує прогнозування, перетворюючи і кодуючи процеси, для стискування потоку біт. Відеодекодер Н.264 виконує додаткові процеси декодування, зворотного перетворення і реконструкції, щоб отримати декодовану відео послідовність. Рис.3.1 показує, послідовність початкових відеокадрів і серію бітів, яка представляє відео в стислій формі. Цей стислий потік бітів зберігається або передається і може декодуватися, щоб відновити відео послідовність. Декодована версія не ідентична початковій послідовності, тому що Н.264 є форматом стискування з втратами, тобто деяка якість зображення втрачається під час стискування [10].

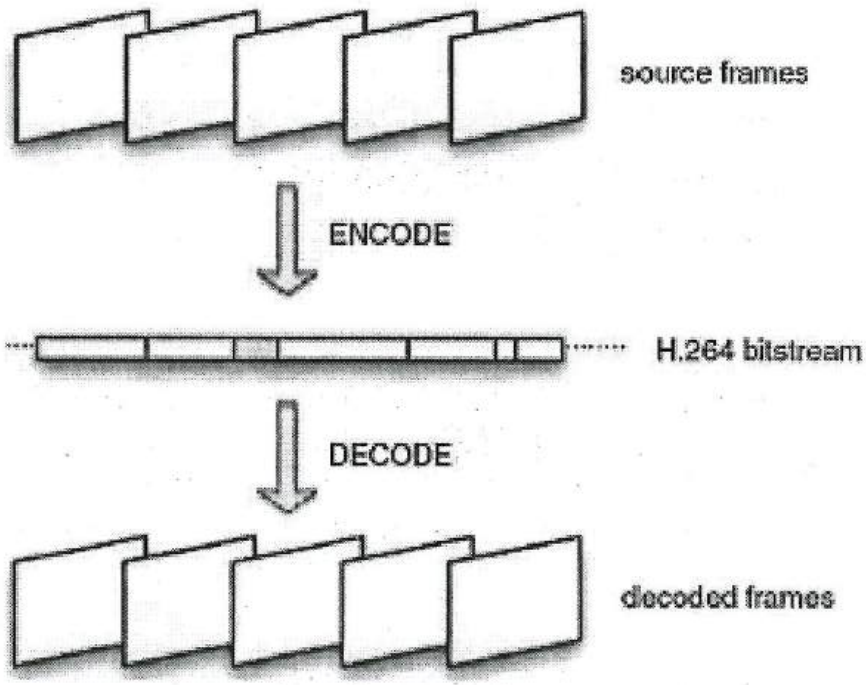


Рисунок 3.1. Відеообробка: початкові кадри, закодований потік бітів, декодування кадри

Кадр або поле, яке буде кодовано, наприклад, кадр А на рис.3.2, обробляються Н.264-сумісним відео кодером. В процесі кодування і передачі кадру як частини процесу кодування потоку бітів або кодування файлу, кодер відновлює кадр, тобто створює копію декодованого кадру А', який буде кінець кінцем оброблений декодером. Ця відновлена копія може бути збережена в кодованому буфері зображення КБЗ, і використовуватися під час кодування подальших кадрів. Декодер отримує кодований потік бітів і декодує кадр А' для дисплея або подальшої обробки. Одночасно, декодер може зберегти копію кадру А' в декодованому буфері зображення ДБЗ, щоб використовувати його під час декодування подальших кадрів.

Структуру типового кодека Н.264 показано на рис.3.3 (кодер) і рис.3.4 (декодер) в трохи більшій кількості деталей. Дані обробляються в модулях макроблоку МБ, що відповідає 16х16 виведених на екран пікселів. У кодері макроблок прогнозу генерується і виходить з поточного макроблоку, щоб сформувати залишковий макроблок який перетворюється, квантується і кодується. Паралельно, квантовані дані повторно масштабуються і інвертуються, перетворюються і додаються до макроблоку прогнозу, щоб відновити кодовану версію кадру, який збережений для пізніших прогнозів.

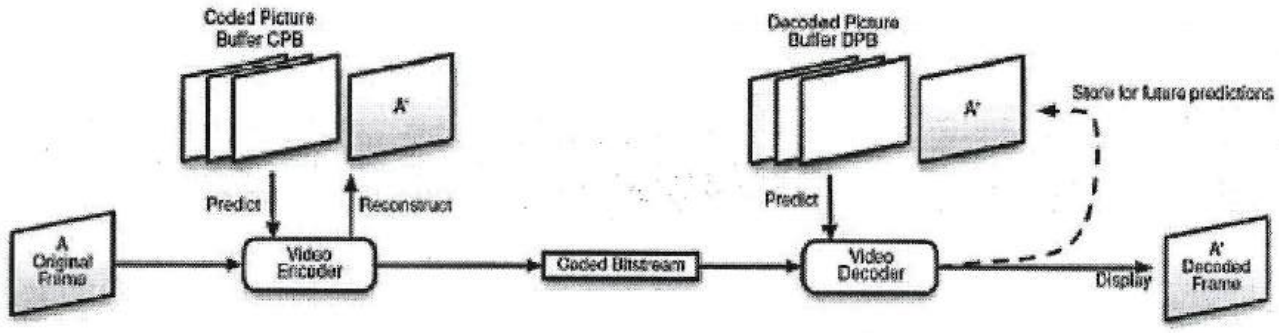


Рисунок 3.2 - Відеокодек Н.264

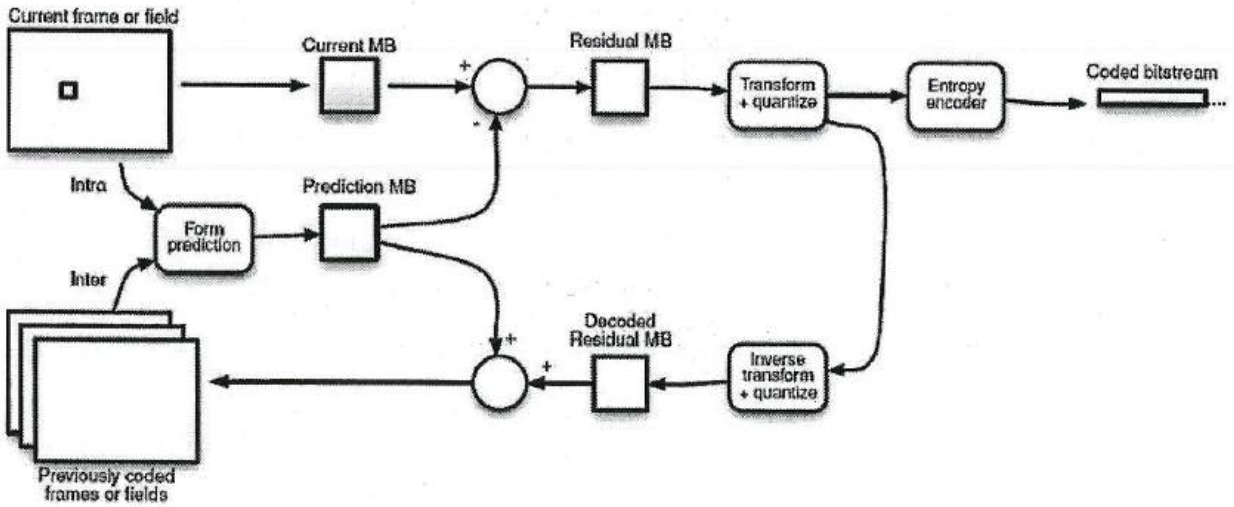


Рисунок 3.3. Типовий кодер H.264

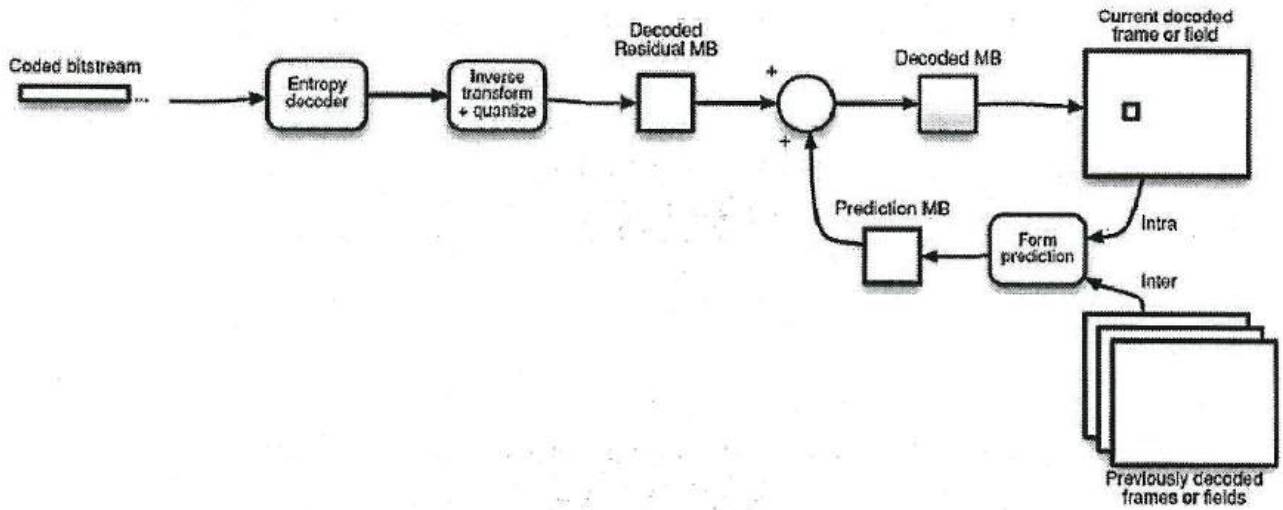


Рисунок 3.4. Типовий декодер H.264

У декодері, макроблок декодується, повторно масштабується і інвертований макроблок перетворюється, щоб сформувати декодований залишковий макроблок. Декодер генерує той же самий прогноз, який створювався в кодері і додає це до залишку, щоб зробити декодований макроблок.

Кодер має два напрями потоків даних: «пряме» (зліва направо) і «реконструйоване» (справа наліво). Потік даних в декодері зображений в напрямі справа наліво, для того, щоб підкреслити його схожість з потоком кодера. Приведемо основні кроки кодування і декодування кадру (чи

напівкадру) відеопослідовності. Термін «блок» використовується для позначення частини макроблоку або частини підмакроблоку (при кодуванні в моді inter) семплів яскравості і пов'язаних з ними компонентів хроматичності (при кодуванні в моді intra).

Кодер (прямий напрям потоку даних). Вхідний кадр або напівкадр F_n обробляється одиницями макроблоків. Кожен макроблок кодується в моді intra або inter, і для кожного блоку макроблоку формується прогноз PRED на основі реконструкції семплів знімка. У моді intra прогноз PRED формується за допомогою семплів поточного шару, раніше закодованих, декодованих і реконструйованих (uF'_n, при створенні PRED використовуються нефільтровані семпли). У моді inter прогноз PRED будується за допомогою компенсації руху по одному або двох посилальних кадрах, вибраних зі списку 0 і/або зі списку 1 посилальних знімків. На рисунках посилальний кадр показаний у вигляді раніше закодованого знімка uF'_n, а посилальний прогноз для кожної частини макроблоку (у моді inter) може бути узятий з минулих або майбутніх знімків (в порядку їх відображення на дисплеї), які вже були закодовані раніше, реконструйовані і відфільтровані [11].

Прогноз PRED віднімається з поточного блоку, і їх різниця (яку ми для зручності називатимемо залишком) позначається D_n. Далі до блоку D_n застосовується відповідне перетворення, результат квантується, і створюється блок X. Отримана безліч квантованих коефіцієнтів переупорядковується і кодується кодером ентропії. Вихідні коефіцієнти кодера ентропії разом з деякою додатковою інформацією, необхідною при декодуванні кожного блоку цього макроблоку (мода прогнозу, параметри квантувача, інформація про вектори руху і т. п.). записуються у бітовий потік, який проходить через абстрактний мережевий модуль NAL (Network Abstraction Layer) для подальшої передачі або зберігання.

Кодер (напрям реконструкції потоку даних). Кожен закодований і переданий блок макроблоку декодується (реконструюється) самим кодером для отримання посилального матеріалу подальших прогнозів. При цьому коефіцієнти X деквантуются (Q-1), і до результату застосовується зворотне перетворення (Q-1 для отримання різницевого (залишкового) блоку D'_n. Прогнозний блок PRED складається з блоком D'_n для утворення реконструйованого блоку uF' (декодована версія початкового блоку, і означає, що він не фільтрований). Потім застосовується фільтр для погашення ефекту блокової дисторсії (спотворення). У результаті реконструйований посилальний кадр будується по ряду блоків uF'.

Декодер. Декодер отримує стислий бітовий потік з NAL, і спочатку застосовує декодер ентропії для отримання елементів даних, з яких формується безліч квантованих коефіцієнтів X. Ці коефіцієнти деквантуются, до результату застосовується зворотне перетворення, і виходить блок D'_n (ідентичний блоку D'_n кодера). Використовуючи інформаційний заголовок, витягнутий з бітового потоку, декодер створює блок-прогноз PRED, який в точності співпадає з початковим блоком PRED кодера. Цей блок складається з D'_n для отримання блоку uF' який потім фільтрується для формування декодованого блоку F'_n.

Профілі і рівні. У стандарті H.264 визначено три профілі, кожен з яких підтримує певний набір функцій кодування. Ці набори функцій означають, що вимагається від кодера і декодера для його підпорядкування цьому профілю. Базовий профіль підтримує моди кодування intra і inter (на основі I-шарів і P-шарів) і кодування ентропії за допомогою контекстно-адаптивних кодів змінної довжини CAVLC (Context - Adaptive Variable - Length Codes). Основний профіль включає підтримку відео з черезрядковою розгорткою, кодування inter за допомогою B-шарів і зважене прогнозування, а також контекстне арифметичне кодування ентропії CABAC (Context - based

Adaptive Binary Arithmetic Coding). Розширений профіль не підтримує черезрядкового відео і кодування CABAC, але в нім є деякі моди, які дозволяють перемикатися між бітовими потоками (SP - і SI -шари) і підвищувати стійкість до помилок передачі (розподіл даних). Потенційними сферами додатка базового профілю є відеотелефонія, організація відеоконференцій і безпровідних комунікацій. Потенційні додатки основного профілю включають телевізійне мовлення і зберігання відеоданих, а розширений профіль може виявитися корисним в додатках потокового медіа. Проте кожен профіль має достатню гнучкість д.ля охоплення дуже широкого кола додатків, тому наведено вище приклади не слід вважати вичерпними.

На рис. 3.5 показано співвідношення між трьома профілями і інструментами кодування, підтримуваними цим стандартом. З цього рисунка видно, що базовий профіль є підмножиною розширеного, але не основного профілю.

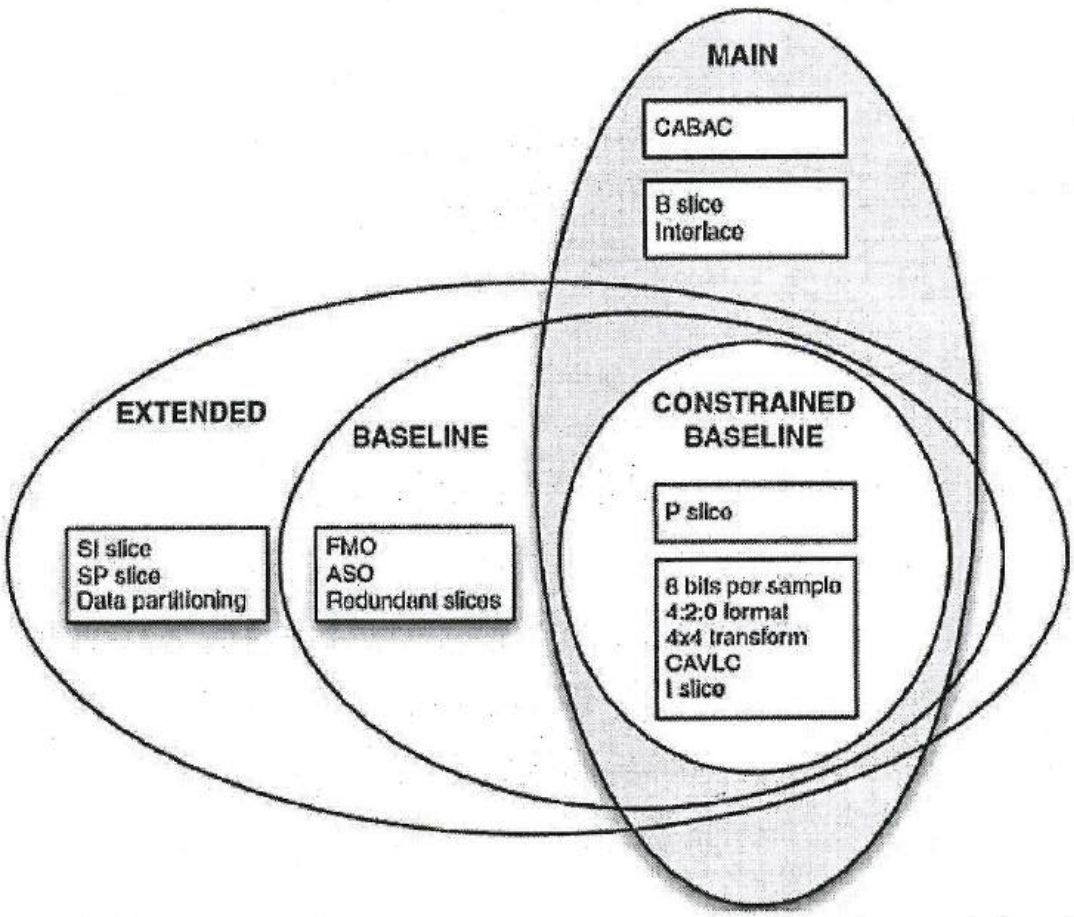


Рисунок 3.5. Базовий, основний і розширений профілі H.263.

Межі продуктивності кодеків цього профілю визначаються безліччю рівнів, які накладають обмеження на такі параметри кодування, як швидкість відбору і обробки семплів, розмір кадру, бітова швидкість кодування і об'єм необхідної пам'яті.

Відеоформат H.264 підтримує кодування і декодування відеопотоку з прогресивною і черезрядковою розгорткою у форматі 4:2:0, прийнятим за умовчанням являється прогресивний формат кадрів 4:2:0. У прийнятому за замовчуванням форматі семплювання хроматичні семпли (Cb і Cr) вирівняні по горизонталі з кожним другим семплом яскравості і розташовані по вертикалі між двома сусідніми семплами яскравості. Кадр черезрядкової розгортки складається з двох напівкадрів (верхнього і нижнього), розділених за часом.

Формат закодованих даних. Стандарт H.264 робить відмінності між модулем кодування відео VCL (Video Coding Layer) і абстрактним мережевим модулем NAL (Network Abstraction Layer). Виходом процесу кодування служать дані VCL (це послідовність бітів, що представляє закодовані відеодані), які перетворяться в одиниці NAL перед передачею або зберіганням. Кожна одиниця NAL складається з первинної байтової послідовності даних RBSP (Raw Byte Sequence Pay load), тобто з цифрової інформації, що відповідає закодованим відеоданим з інформаційного заголовка. Закодована відеопослідовність представлена у вигляді ряду одиниць NAL (рис.3.6), які можна переслати по мережі пакетної передачі даних або по каналу зв'язку бітових потоків, а також зберегти у файлі. Метою роздільної специфікації модулів VCL і NAL є розмежування процесу відеокодування (VCL) і підготовки даних до їх транспортування (NAL).

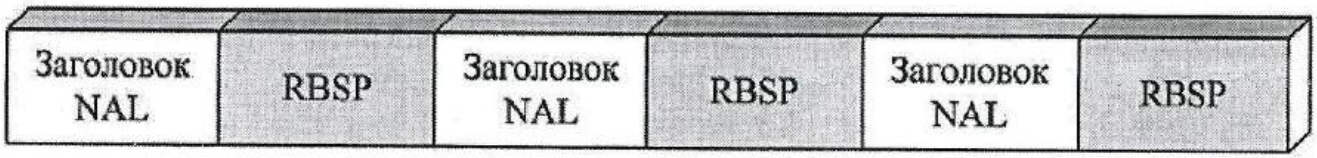


Рисунок 3.6. Послідовність одиниць NAL

Посилальні знімки. Кодер H.264 може використовувати один або два з раніше закодованих знімків в якості посилань для формування прогнозу компенсації руху при кодуванні макроблоків або їх частин в моді inter. Це дозволяє кодеру шукати кращу «схожість» частин поточного макроблоку в ширшій безлічі знімків в порівнянні з використанням, наприклад, тільки одного попереднього знімка.

І кодер, і декодер будують по два однакові списки посилальних знімків, включаючи раніше кодовані і декодовані знімки (які можуть знаходитися до або після поточного знімка при їх відображенні на екрані). Р-макроблоки в моді inter, а також частини макроблоків з Р-шарів прогнозуються на основі знімків з одного єдиного списку списку 0. Прогнози для макроблоків і їх частин, що кодуються в моді inter з В-слоїв (див. далі), можуть будуватися за двома списками списку 0 і списку 1.

Шари. Відеознімки кодуються у вигляді одного або декількох шарів, в кожному з яких міститься ціле число макроблоків від 1 (1 МБ на шар) до повного числа макроблоків на знімку (1 шар на знімок). Число макроблоків в шарі має бути однаковим в межах кожного знімка. Є мінімальна залежність між закодованими шарами, яка допомагає обмежити поширення помилок. Визначено п'ять типів закодованих шарів (табл. 3.1), і закодовані знімки можуть мати шари різних типів. Наприклад, закодовані знімки базового профілю можуть містити шари I і P, а знімки основного і розширеного шарів можуть складатися з шарів I, P і B [12].

Таблиця 3.1.

Моди шарів H.264

Тип шару	Опис	Профілі
I (Intra)	Містить тільки I-макроблоки (кожен блок або макроблок прогнозується за раніше закодованими даними того ж шару)	Всі
P (Predicted)	Складається з P-макроблоків (кожен макроблок або частина макроблоку прогнозується за одним списком 0 посилальних знімків) і/або з I-макроблоків	Всі
B (Bi - predirtive)	Складається з B-макроблоків (кожен макроблок або частина макроблоку прогнозується за списком 0 або за списком 1 посилальних знімків) і/або з I-макроблоків	Розширений і основний
SP (Switching P)	Дозволяє перемикатися між кодованими потокам; полягає SP- і/або I-макроблоків	Розширений
SI (Switching I)	Дозволяє перемикатися між кодованими потокам; складається з SI-макроблоків (особливий тип макроблоків, закодованих в моді intra)	Розширений

На рис. 3.7 показана спрощена схема синтаксису закодованого шару.

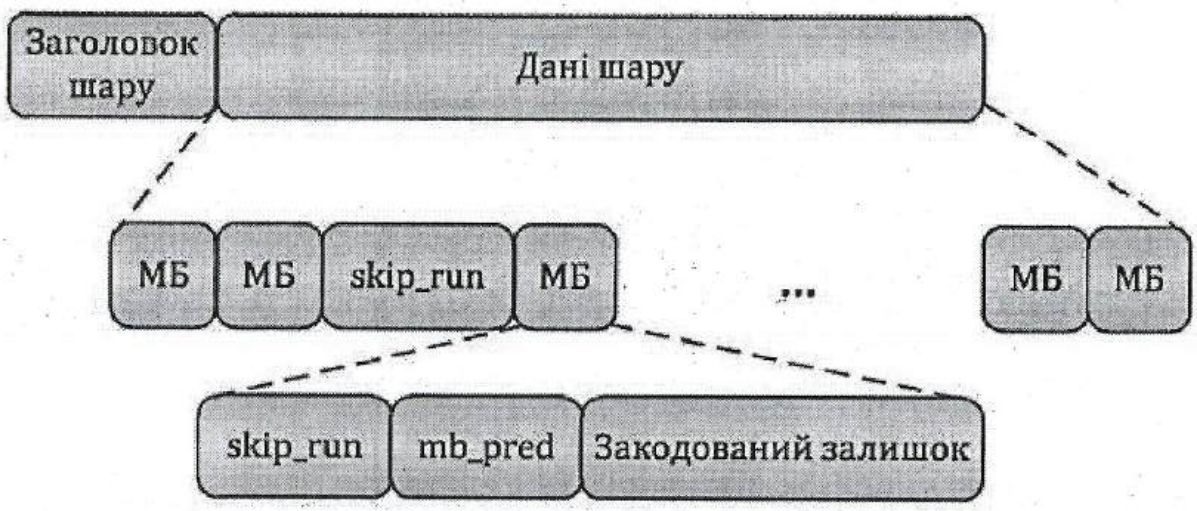


Рисунок 3.7. Синтаксис шару

Заголовок шару визначає (окрім усього іншого) тип шару, а також знімок, якому належить цей шар. Заголовок може містити інструкції, що відносяться до керування посилальними знімками. Шар даних складається з послідовності закодованих макроблоків і/або з повідомлень про пропущені (некодованих)

макроблоки. Кожен макроблок складається з елементів заголовка (див. табл. 3.2) і з закодованих залишкових даних.

Таблиця 3.2

Синтаксис елементів макроблоку

Елемент	Пояснення
mb_type	Визначає моду кодування макроблоку: intra або inter (P або B); задає розміри частин макроблоків
mb - pred	Визначає моду прогнозу intra (I-макроблоків); визнає посилальний список 0 і/або список 1 і вектори руху, закодовані диференційовано для кожного розподілу макроблоку
sub - mb - pred	Визначає: розмір розподілу на підблоки кожної частини макроблоку; список 0 і/або список 1 посилальних знімків для кожного розподілу макроблоку; диференційовано закодовані вектори руху для кожного підрозділу підмакроблоків (тільки для частин I-макроблоків розміром 8 x 8)
mbjqp_delta	Крок зміни параметрів квантувача
residual	Закодовані коефіцієнти перетворення, семплам залишкового зображення, що відповідають, після компенсації руху

Макроблоки. Макроблок складається із закодованих даних, що відповідають області семплів розміром 16 x 16 на відеокадрі (16 x 16 семплів яскравості, 8x8 семплів Cb і 8 x 8 семплів Cr). У ньому також є елементи синтаксису, описані в табл. 3.2. Макроблоки нумеруються (адресуються) в порядку растрового сканування кадрів.

3.2Базовий профіль кодека H.264

Базовий профіль підтримує закодовані послідовності, в які входять шари типу I і P. Шари I містять макроблоки в моді intra, в яких кожна область 16 x 16 або 4x4 семплів яскравості і кожна область 8x8 семплів хроматичності прогнозується по раніше закодованим семплам цього ж шару. P-шари можуть складатися з макроблоків в модах intra і inter, а також з пропущених макроблоків. Блоки в моді inter з P-шарів прогнозуються по декількох раніше закодованих знімках за допомогою компенсації руху з четвертьпіксельною точністю (по компоненті яскравості) векторів руху.

Після побудови прогнозу залишкові дані кожного макроблоку перетворяться за допомогою цілочисельного 4 x 4-пертворення (заснованого на DCT), і результат квантується. Квантовані коефіцієнти перетворення упорядковуються, і відповідні синтаксичні елементи кодуються кодером ентропії. У базовому профілі при кодуванні коефіцієнтів перетворення використовується кодер ентропії на основі контекстно-адаптивних кодів змінної довжини (CAVLC), а усі інші синтаксичні елементи кодуються за допомогою кодів фіксованої довжини або за допомогою експоненціальних кодів Голомба змінної довжини. Квантовані коефіцієнти деквантуются, потім застосовується зворотне перетворення, робиться реконструкція (тобто до отриманого масиву чисел додається прогноз, сформований в процесі кодування) і фільтрація за допомогою де-блочного фільтру перед (необов'язковим) збереженням результату для можливого використання в посилальних знімках при кодуванні наступних макроблоків в моді intra або inter.

Організація посилальних знімків. Раніше закодовані знімки зберігаються в посилальному буфері (буфері декодованих знімків DPB. Decoded Picture Buffer) як кодером, так і декодером. Кодер і декодер будують список

закодованих раніше знімків, а саме список О посилальних знімків для його використання в прогнозах компенсації руху макроблоків в моді inter шару Р. При прогнозуванні шару Р в списку О можуть знаходитися знімки, що йдуть до або після поточного знімка в порядку їх хронологічної демонстрації на дисплеї. У цьому списку можуть міститися посилальні знімки як з близькими термінами, так і з давніми термінами. За умовчанням прийнято, що закодовані знімки реконструюються кодером і зберігаються з позначкою «знімок з близьким терміном», що означає недавнє кодування знімка, який стає доступним для прогнозу. Знімки з близькими термінами ідентифікуються за допомогою їх номера кадру. Знімки з давніми термінами зазвичай є старішими; їх теж можна використовувати при прогнозуванні, і вони ідентифікуються змінній LongTermPicNum. Такі знімки зберігаються у буфері DPB аж до їх явного видалення або заміни.

Коли знімок кодується і реконструюється (кодером) або декодується (декодером), він поміщається у буфер декодованих знімків. При цьому він або позначається як «невживаний для посилань» (отже, він не братиме участь в прогнозах), або позначається як «знімок з близьким терміном», або позначається як «знімок з давнім терміном», або просто виводиться на дисплей. За умовчанням, знімки з близькими термінами в списку 0 упорядковуються від найбільших до найменших значень змінної PicNuiu (ця змінна визначається по номеру кадру), а знімки з давніми термінами упорядковуються від найменшого до найбільшого значення змінної LongTermPicNum. Кодер може подавати сигнал про встановлення порядку посилальних знімків, прийнятого за умовчанням. При додаванні кожного нового знімка в список з близькими термінами в позицію 0 індексів усіх інших знімків цього списку збільшуються на 1. Якщо число знімків з близькими і давніми термінами дорівнює максимальному допустимому числу посилальних кадрів, то найстаріший знімок з близьким терміном (найбільший індекс, що

має) видаляється з буфера (ця процедура називається контролем пам'яті ковзаючим вікном). В результаті кодер і декодер мають «вікно» з N посилальних знімків з близькими термінами, в яке входить поточний знімок і ще (N - 1) раніше; закодованих знімків.

Команди адаптивного контролю пам'яті, що посилаються кодером, управляють індексами знімків з близькими і давніми термінами. За допомогою цих команд знімку з близьким терміном може бути присвоєний індекс кадру з давнім терміном. Крім того, будь-який знімок близького або давнього терміну може бути помічений як «невживаний для посилань».

Кодер обирає посилальні знімки зі списку 0 для кодування кожної частини макроблоку в моді inter. Вибір посилального знімка відзначається індексом, де індекс 0 відповідає першому кадру серед знімків з близькими термінами, а індекси кадрів з давніми термінами починаються після самого старшого серед кадрів з близькими рядками.

Миттєве очищення знімка декодера. Кодер посилає закодований знімок IDR (Instantaneous Decoder Refresh, миттєве очищення декодера), який складається з шарів I і SI, для очищення утримуваного буфера посилальних кадрів. При отриманні знімка IDR декодер позначає усі знімки в посилальному буфері як «невживані для посилань». Усі подальші передані шари можна буде декодувати без посилань на будь-який кадр, декодований до знімка IDR. Перший знімок кодованої відеопослідовності також є знімком IDR.

Шари. Бітовий потік, згенерований за базовим профілем, містить шари I і/або P. Шар I складається тільки з макроблоків, закодованих в моді intra (прогноз робиться тільки по семплам цього ж знімка, а шар P може мати макроблоки inter (прогноз робиться по раніше закодованих знімках), макроблоки intra або пропущені макроблоки. Коли у бітовому потоці з'являється сигнал пропущеного макроблоку, для цього макроблоку подальші дані у бітовий потік не посилаються. Декодер обчислює вектор для

пропущеного макроблоку і реконструює макроблок за допомогою прогнозу компенсації руху по першому посилальному знімку зі списку 0.

Кодер стандарту H.264 може опційно поміщати обмежувач знімка - одиницю RBSP на межу між знімками. Це вказує на початок нового кодованого знімка і, крім того, дає можливість позначити допустим типи шарів в наступному знімку. Якщо обмежувач знімка не використовується, декодер може виявити появу нового знімка за допомогою заголовка першого шару цього знімка [13].

Зайвий кодований знімок. Знімок, помічений як «зайвий», містить надмірне представлення частини або усього закодованого знімка. У звичайній ситуації декодер реконструює кадр з «первинних» (ненадмірних) знімків і ігнорує усі зайві знімки. Проте, якщо первинний знімок був зіпсований (наприклад, через помилок в каналі передачі), декодер може спробувати замінити зіпсовану область декодованими даними з надмірного знімка.

Довільний порядок шарів (ASO). Базовий профіль допускає довільний порядок шарів ASO (Arbitrary Slice Order). Це означає, що шари кодованого кадру можуть слідувати у будь-якому порядку декодування . Використання ASO можна розпізнати, якщо перший макроблок у будь-якому шарі декодованого кадру має меншу адресу макроблоку, чим перший макроблок з раніше декодованого шару на тому ж знімку.

Групи шарів. Групою шарів називається підмножина макро-блоків закодованого знімка. Вона може складатися з одного або декількох шарів. Усередині кожного шару, що належить групі, макроблоки кодуються в растровому порядку. Якщо для цього знімка використовується тільки одна група шарів, то усі макроблоки кодуються в порядку растрового сканування (за винятком випадків, коли використовується ASO, див вищий). Використання декількох груп (описане в попередніх чорнових версіях стандарту як гнучкий порядок макроблоків FMO, Flexible Macroblock Ordering) дає можливість

відображати послідовність закодованих макроблоків на декодованому знімку декількома можливими способами. Розміщення макроблоків задається картою макроблоків в групі шарів, де вказується, якій групі шарів належить кожен блок. У табл. 3.3 перераховані різні типи карт розподілу макроблоків по групах шарів.

Таблиця 3.3.

Типи карт розподілу макроблоків по групах шарів

Тип	Ім'я	Опис
0	Переміщення	Серії макроблоків по групах шарів розподіляються по черзі (див. рис. 3.8)
1	Розсіювання	Макроблоки розсіюються по знімку (див. рис3.9)
2	Передній план і задній план	Усі групи, окрім останньої, є прямокутними областями. Остання група складається з усіх макроблоків, що увійшли до попередніх груп (передній план) В прикладі на рис. 3.10 група 0 перекривається з групою 1, тому макроблоки, що не увійшли до групи 0, поміщаються в групу 1
3	Квадрат і його зовнішність	Будується «квадрат» в центрі кадру (його розміри контролюються кодером), який утворює групу 0, а усі інші макроблоки об'єднуються в групу 1 (див. рис. 3.11)
4	Растровий порядок	Група 0 складається з макроблоків в послідовності растрового сканування, починаючи з верхнього лівого кута, а група 1 з усіх інших макроблоків (рис. 3.11)
5	Стирання	Група 0 складається з макроблоків у вертикальному растровому скануванні, починаючи з верхнього лівого кута, а група 1 - з усіх інших макроблоків (рис. 3.11)
6	Явний опис	Разом з кожним макроблоком передається параметр slice - group - id, який означає групу шарів (тобто відображення макроблоків повністю визначається кодером)

0
1
2
0
1
2
0
1
2

Рисунок 3.8. Групи шарів - перемішування (QCIF, три групи)

0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2
2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0
0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2
2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0
0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2
2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0
0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2
2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0
0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2

Рисунок 3.9. Групи шарів - розсіювання (QCIF, чотири групи)

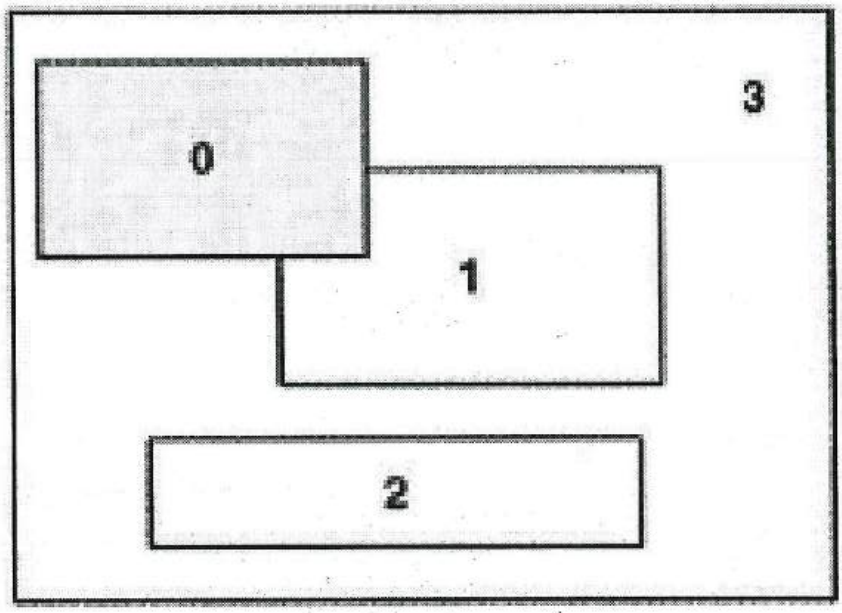


Рисунок 3.10. Групи шарів - передній план і задній план (чотири групи)

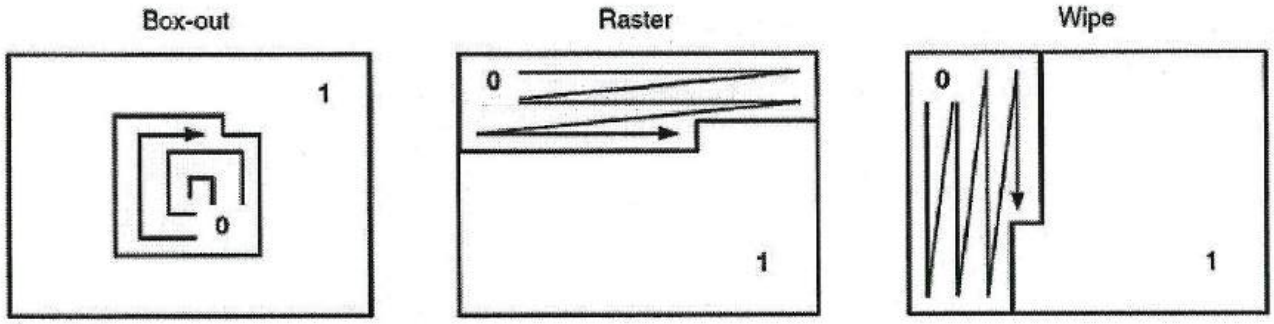


Рисунок 3.11. Групи шарів - квадрат і його зовнішність, растровий порядок і стирання

Прогнозування макроблоків. Кожен закодований макроблок в H.264 має прогноз за раніше закодованими даними. Семпли макроблоків в моді intra прогнозуються по вже закодованих і реконструйованих семплам поточного шару, а семпли макроблоків в моді inter по семплам раніше закодованих шарів.

Прогноз для поточного макроблоку або блоку (зразок, більше усіх схожий на цей макроблок або блок) будується по закодованих семплам зображення (поточного і попереднього шару). Цей прогноз віднімається з поточного макроблоку або блоку, і отримана різниця (залишок) стискується і

передається декодеру разом з інформацією, необхідною для повторення процесу прогнозування (вектори руху, мода прогнозу і тому подібне). Декодер створює ідентичний прогноз і складає його з декодованим залишком або блоком. Кодер засновує свій прогноз на кодованих і декодованих семплах зображення (а не на семплах початкового оригінального відеозображення). Це робиться з тією метою, щоб і кодер, і декодер оперували з ідентичними прогнозами.

Прогнозування в моді inter. При прогнозуванні в моді inter створюється зразок прогнозу по одному або декількох раніше закодованих відеокадрах і напівкадрах на основі поблочної компенсації руху. Важливою відмінністю від попередніх стандартів є можливість варіювання розмірів блоку (від 16 х 16 до 4х4) і вибору малого кроку підсемплів для векторів руху (до чверті семпла яскравості). У цьому параграфі будуть описані інструменти, доступні у базовому профілі. Додаванням до цих інструментів в основному і розширеному профілях служать В-шари і модуль завершеного прогнозу [14].

Деревовидна структура компенсації руху. Компоненту яскравості кожного макроблоку (семпли 16 х 16) можна розбити на частини чотирма способами (див. рис. 3.12), і тому компенсацію руху можна будувати у вигляді одного макроблоку 16 х 16, двох блоків 16 х 8, двох блоків 8 х 16 або чотирьох блоків 8х8. Якщо вибраний розмір 8х8 - то кожен з чотирьох підмакроблоків 8х8 цього макроблоку можна далі розбити чотирма способами (рис. 3.12) і отримати один блок 8х8, два блоки 8х4, два блоки 4х8 або чотири блоки 4х3. Ці способи розподілу на підмакроблоки дають велике число можливих комбінацій для поводження з кожним макроблоком. Такий метод ділення макроблоків на підблоки компенсації руху змінних розмірів називається деревовидною структурою компенсації руху.

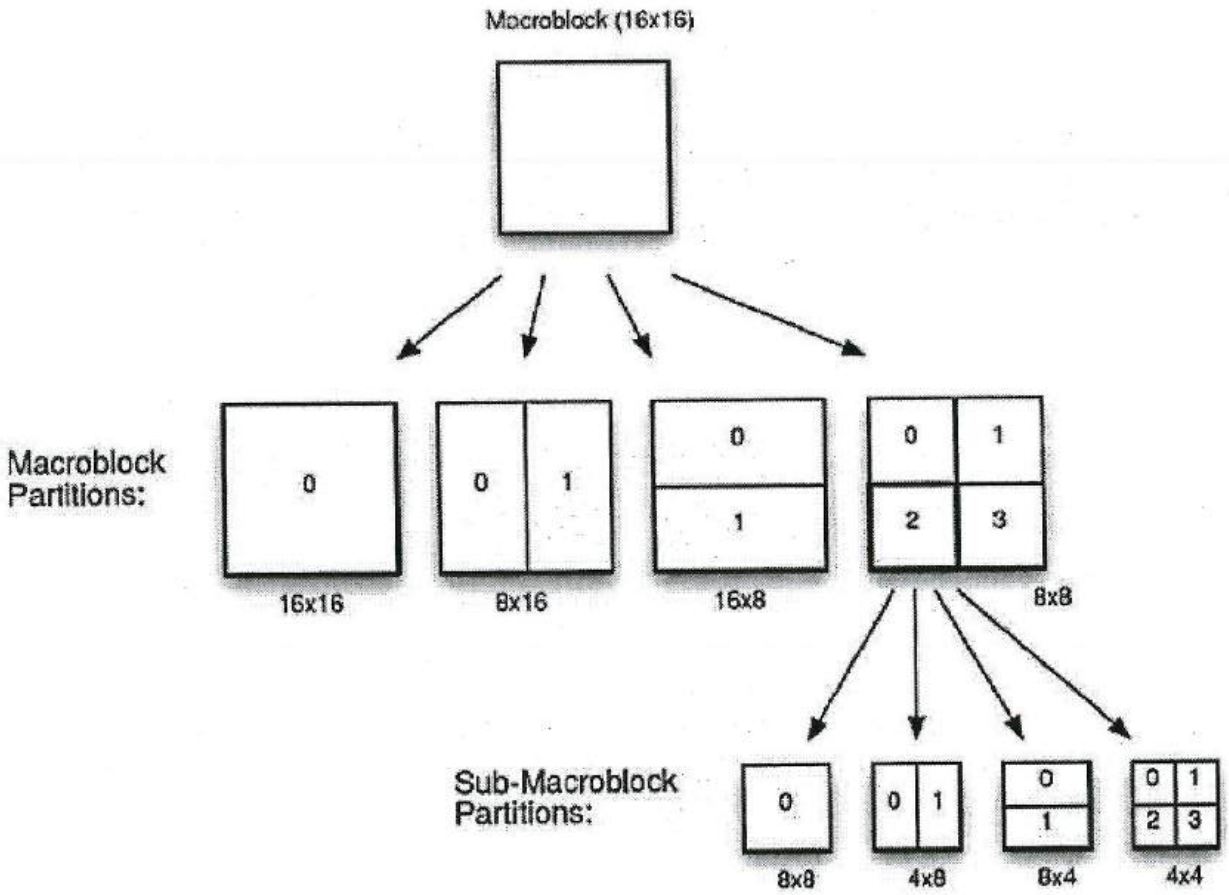


Рисунок 3.12. Поділ макроблоку на макроблочні розділи (підмакроблоки) та подальший поділ підмакроблоків

Для кожної частини макроблоку або підмакроблоку необхідно задати окремий вектор руху. Кожен вектор руху має бути закодований і переданий по мережі. Крім того, необхідно закодувати у бітовому потоці вибраний метод розподілу. Використання великого розміру частин ділення (16 х 16, 16 х 8, 8 х 16) означає, що для передачі векторів руху знадобиться менше біт, але. з іншого боку, це призводить до великої енергії залишкових блоків в областях зображення з дрібними деталями. Вибір малого розміру частин ділення (8 х 4, 4 х 4 і т. д.) призводить до малої енергії залишкових блоків після компенсації руху, але примушує витратити більший об'єм інформації для передачі векторів руху і способів ділення. Таким чином, вибір розміру ділення істотним чином впливає на міру стискування відеозображення. Говорячи загальними словами, великий розмір частин підходить для

однорідних областей відеокадрів, а малий розмір буде доцільний для областей з множиною дрібних деталей.

Кожна компонента хртматичності макроблоку (Cb або Cr) має половиннийдозвіл по вертикалі і по горизонталі від розширення компоненти яскравості. Кожен хроматичний блок ділиться на частини тим же способом, що і відповідний блок компонент яскравості з урахуванням половинного дозволу (тобто частині 8x16 семплів яскравості відповідає частина 4 x 8, а частини 8x4 відповідає блок 4 x 2 і т. д.). Горизонтальні і вертикальні компоненти векторів руху (по одному на частину ділення) діляться навпіл перед їх застосуванням до хроматичних блоків.

Вектори руху. Кожна частина ділення макроблоку або підмакроблоку в моді inter прогнозується по області того ж розміру на посилальному знімку. Вектор зміщення між двома областями (вектор руху) має дозвіл в чверть піксела для компоненти яскравості і одну восьму піксела для компонент хроматичності. Семпли яскравості і хроматичності не визначені явно на посилальному знімку з підпіксельною точністю, тому їх необхідно обчислити за допомогою інтерполяції сусідніх семплів. На рис. 3.13 блок розміром 4x4 поточного кадру (а) прогнозується по області посилального знімка, що має близьку позицію до положення поточного блоку. Якщо горизонтальні і вертикальні компоненти вектору руху є цілими числами (b), то відповідний прогнозний блок семплів існує в явному виді на посилальному знімку (сірі кухлі). Якщо один або обидва компоненти вектору руху є дробовими числами (c), то блок-прогноз (сірі кухлі) генерується за допомогою інтерполяції по сусідніх семплам на посилальному знімку (білі круги).

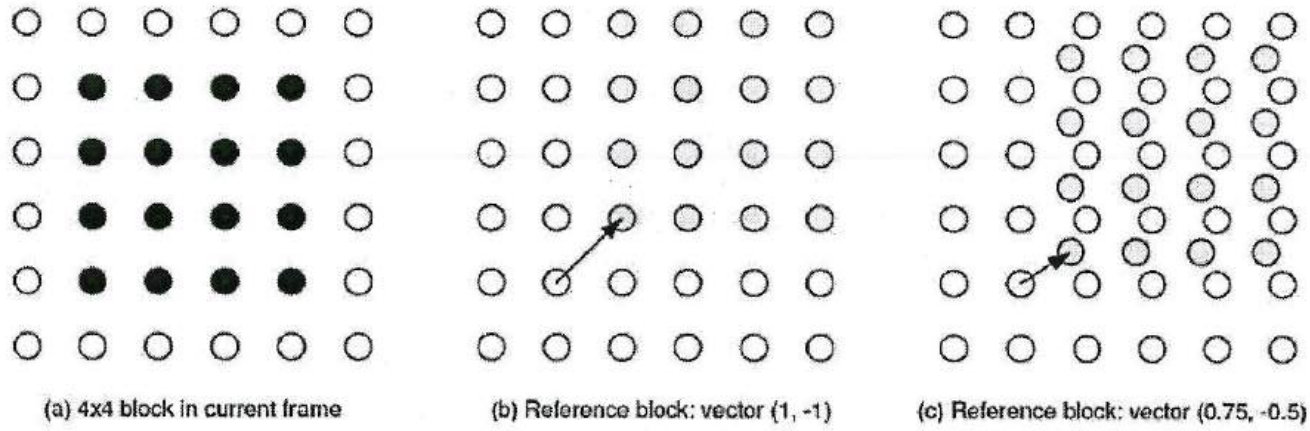


Рисунок 3.13. Приклади прогнозу по цілих та дробовим пікселям

Генерування інтерпольованих семплів. Спочатку обчислюються семпли компонент яскравості, розташовані посередині між семплами з цілочисельними координатами (напівсемплами) на посилальному знімку (рис. 3.14 сірі мітки). Кожен напівсемпл, що примикає до двох цілих семплів (наприклад b , h, m, s на рис. 3.14), інтерполюється але цілим семплам за допомогою кінцевого фільтру імпульсного відгуку, що має 6 відліків з вагами (1/32, -5/52, 5/8, -5/32, 1/32). Наприклад, напівсемпл b обчислюється по шести горизонтальним цілим семплам E, F, G, H, I і J:

$$b = \text{round}\left(\frac{E-5F+20G+20H-5I+J}{32}\right). \quad (3.1)$$

Аналогічно напівсемпл h інтерполюється фільтруванням семплів A, C, G, M, R і T. Після того, як вичислені усі примикаючі напівсемпли по горизонталі і вертикалі, напівсемпли, що залишилися, обчислюються інтерполяцією по шісти горизонтальним або вертикальним напівсемплам, які були знайдені на початку процедури. Наприклад j виходить фільтруванням cc, dd, h, m, ee і ff (фільтрація по вертикалі дасть той же результат і крім того, при обчисленні j використовуються точні значення h і m). Інтерполяційний фільтр з шістьма відліками є відносно складним, але його

результат акуратно вписується в дані цілочисельних семплів i, отже, дає хорошу компенсацію руху.

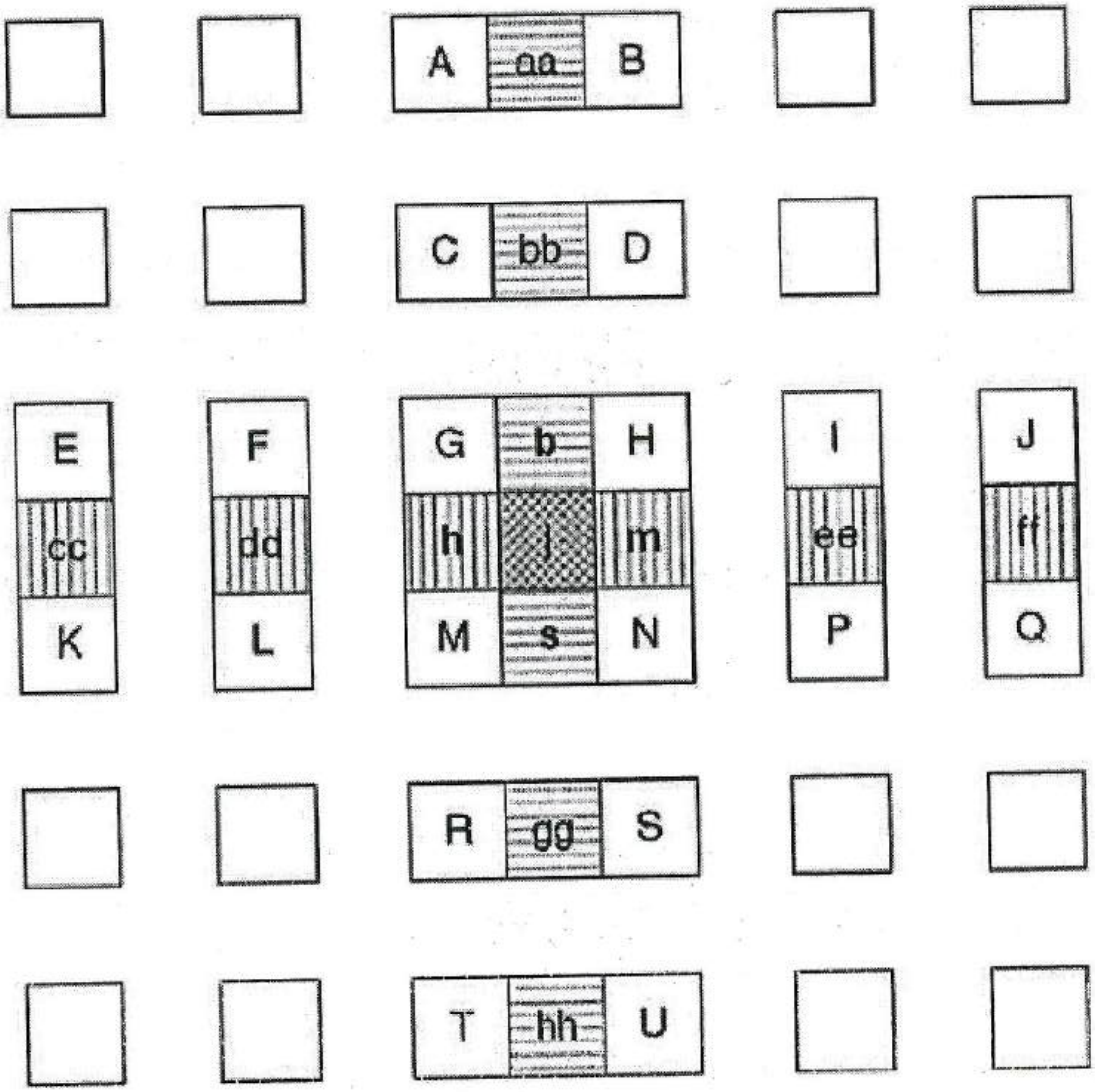


Рисунок 3.14. Інтерполяція компонент яскравості по напівсемплам

Після обчислення напівсемплів підсемпли з кроком в чверть піксела визначається за допомогою лінійної інтерполяції (див. рис. 3.15). Четвертьсемпли, що мають два прилеглих, горизонтальних або вертикальних цілі семпли або напівсемпли (наприклад, a, c, i, k і d, f, n, q на рис. 3.15) виходять інтерполяцією цих прилеглих семплів, наприклад:

$$b = \text{round}\left(\frac{G+B}{2}\right). \tag{3.2}$$

Інші позиції четвертьсемплів (e, g, p і r на цьому рисунку) генеруються лінійною інтерполяцією пари напівсемплів по діагоналі. Наприклад, e виходить з b і h. Нарис. 3.16 показаний результат інтерполяції посилальної області з четвертьпіксельною точністю.

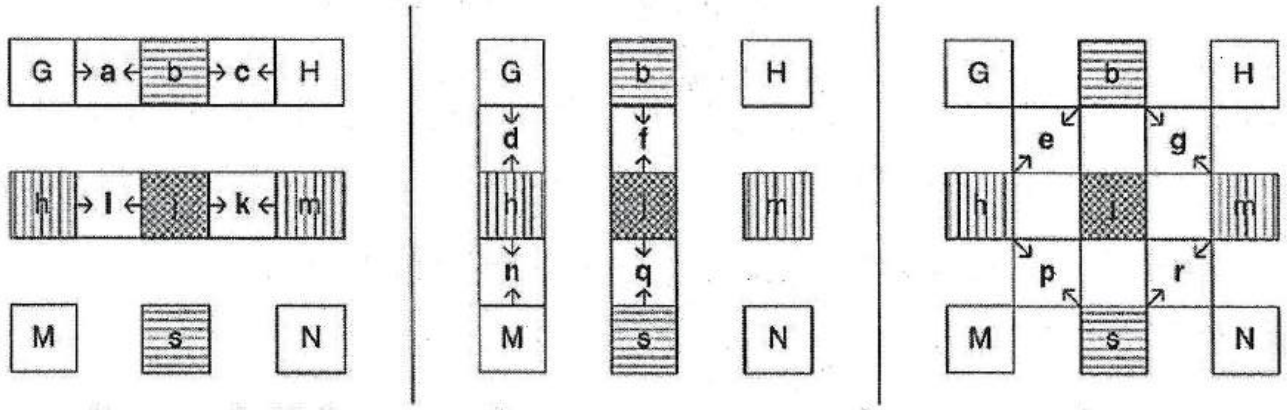


Рисунок 3. 15. Інтерполяція компонент яскравості по четвертьпікселям

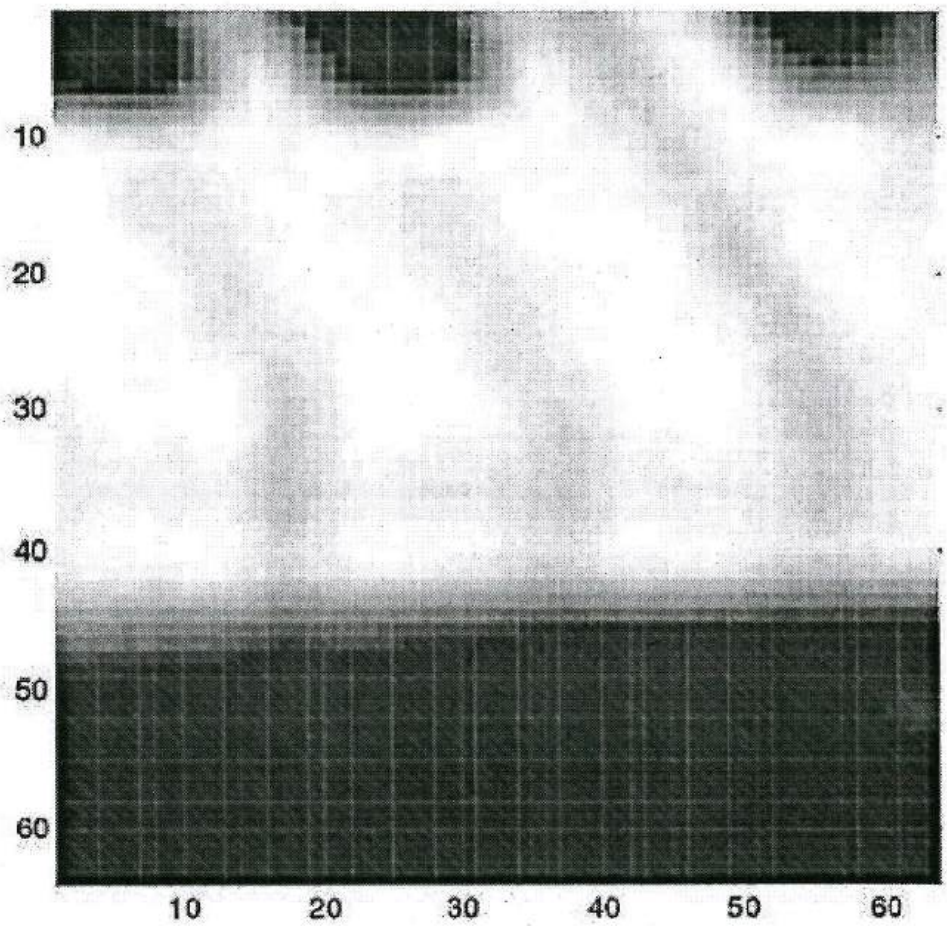


Рисунок 3.16. Інтерполяція компонент яскравості по четвертьпікселям

Векторам руху з четвертьпіксельним розподілом компонент яскравості потрібні вектори руху компонент хроматичності з кроком в 1/8 піксела (при семплюванні у форматі 4:2:0). Інтерпольовані хроматичні семпли виходять лінійною інтерполяцією (рис.3.17). Кожен хроматичний підсемпл а дорівнює лінійній комбінації близьких цілих семплів A, B, C і D [15]:

$$a = \text{round}\left(\frac{[8-d_x][8-d_y]A + d_x[8-d_y]B + d_y[8-d_x]C + d_x d_y D}{64}\right). \quad (3.3)$$

3.3 Збільшення якості відеозображення ТВ-каналів за допомогою стандарту H.264

Як очікується, новітній стандарт стискування відеозображення H.264 (відомий також під назвою MPEG-4 Part 10/AVC, останні букви якого означають "передове кодування відеосигналів") стане найближчими роками відеостандартом, що самим зажадалося.

H.264 – це відкритий ліцензований стандарт з підтримкою найефективніших на сьогоднішній день технологій стискування відеозображення. Кодер H.264 без шкоди для якості зображення може знижувати розмір файлу цифрового відео більш ніж на 80% в порівнянні з форматом Motion JPEG і на 50% - в порівнянні із стандартом MPEG-3. Що означає набагато менші вимоги до смуги пропускання для передачі і об'єму пам'яті для зберігання відеофайла. Або ж, з іншого боку, можливість здобуття набагато кращої якості відеозображення при тій же швидкості передач даних.

H.264 вже з'явився в таких нових електронних пристроях, як мобільні телефони і цифрові відеоплеєри, і відразу завоював визнання з боку кінцевих

користувачів. Провайдери різних послуг, такі як онлайн-сховища відеоматеріалів і телекомунікаційні компанії також почали використання H.263.

У галузі охоронного відеоспостереження H.264, ймовірно, найшвидше знайде своє застосування в таких областях, які вимагають використання високої частоти кадрів і високої розподільної здатності, наприклад, для охоронного спостереження за автомагістралями, аеропортами і казино, де нормою є використання частоти 30 кадрів в секунду. Найбільша економія буде досягнута за рахунок зниження вимог до ширини смуги пропускання і об'єму вільного простору для зберігання даних.

Крім того, очікується, що H.264 прискорить перехід на мегапіксельні камери, оскільки високоефективна технологія стискування може понизити величезні розміри файлів і швидкість їх передачі без втрати для якості зображення.

H.264 є результатом спільного проекту групи експертів по кодуванню відео ITU-T і групи експертів з питань кінотехніки ISO/IEC (MPEG). ITU-T проводить координацію телекомунікаційних стандартів від імені Міжнародного телекомунікаційного союзу. ISO розшифровується як Міжнародна організація по стандартизації, а IEC – Міжнародна електротехнічна комісія, яка здійснює нагляд за всіма електротехнічними, електронними і супутніми ним технологіями. Назва H.264 використовується з боку ITU-T, тоді як ISO/IEC дали стандарту назву MPEG-4 Part 10/AVC, оскільки він є новим елементом в їх пакеті MPEG-3. У пакет MPEG-4, наприклад, входить і MPEG-4 Part 2 – стандарт, що застосовується у відеокодерах і мережевих камерах на базі IP-систем.

H.264, розроблений для виправлення деяких недоліків в попередніх стандартах стискування відеозображень, досягає своєї мети завдяки:

- поліпшенням, що дозволяють понизити швидкість передачі даних

в середньому на 50%, і пропонує таку якість нерухомого відеозображення, яке порівнянне з будь-яким іншим відеостандартом;

- стійкості до помилок, яка дозволяє відтворювати зображення не дивлячись на помилки при передачі даних по різних мережах;
- низькому рівню затримки і отриманню кращої якості при вищому рівню затримки;
- простий структурі синтаксису, яка спрощує впровадження стандарту;
- декодуванню на основі точного співпадіння, при якому визначається точна кількість числових розрахунків, які провадяться кодером і декодером, що дозволяє уникнути появи помилок, що накопичуються.

H.264 також володіє гнучкістю, яка дозволяє застосовувати його для вирішення різних завдань з самими різними вимогами до швидкості передачі даних. Наприклад, в області розважального відео (телетрансляції, DVD, супутникове і кабельне телебачення) H.264 здатний забезпечити швидкість від 1 до 10 Мбіт в секунду, тоді як для телекомунікаційних послуг H.264 може запропонувати швидкість передачі даних менше 1 Мбіт/с.

Стискування відеозображення – це скорочення і видалення надлишкових відеоданих з метою оптимізації зберігання і передачі файлів цифрового відео.

В ході цього процесу вихідний відеосигнал обробляється за допомогою алгоритму для створення стислого файлу, готового до передачі і зберігання. Для відтворення стислого файлу застосовується інверсний алгоритм, який фактично дає те ж саме відеозображення, що і оригінальне джерело відеосигналу. Час, потрібний для стискування, відправки, розпаковування і відображення файлу, називається затримкою. При однаковій обчислювальній потужності – чим складніший алгоритм стискування, тим вище затримка.

Спільна робота пари алгоритмів називається відеокодеком (кодер/декодер). Відеокодеки, що застосовують різні стандарти, як правило, несумісні один з одним, тому відеодані, стиснені з використанням одного стандарту, не можна розпакувати із застосуванням іншого стандарту. Наприклад, декодер MPEG-4 не працюватиме з кодером H.263. Причиною тому є той факт, що один алгоритм не може коректно декодувати результат, отриманий за допомогою роботи іншого алгоритму, проте є можливість оснастити безліччю різних алгоритмів програмне або апаратне забезпечення, щоб воно могло виробляти стискування різних форматів.

У різних стандартах стискування відеозображення застосовуються різні методи скорочення розміру даних, і, таким чином, результати відрізняються за швидкістю передачі даних, якості і рівню затримки [16].

Результати стискування можуть розрізнятися і в кодерів, що використовують один і той же стандарт, оскільки розробник кодера вільний вибирати, які саме набори засобів, визначених стандартом, в нім задіювати. До тих пір, поки результат на виході кодера відповідає формату і декодеру стандарту, можливі різні методи його реалізації. Це вигідно, оскільки різні методи реалізації мають різну мету і різний бюджет. Професійні програмні кодери для роботи з оптичними носіями не в режимі реального часу повинні мати можливість забезпечувати краще кодоване відеозображення в порівнянні з апаратними кодерами для проведення відеоконференцій в режим реального часу, вбудованими в портативні пристрої. Таким чином, певний стандарт не може гарантувати певну швидкість передачі даних або її якість. Більш того, функціонування одного стандарту не можна коректно порівнювати з іншими стандартами або навіть з різними методами реалізації цього ж стандарту без попереднього визначення конкретного методу реалізації.

Декодер же, на відміну від кодера, повинен реалізовувати в собі всі необхідні елементи стандарту з тим, щоб декодувати відповідний потік бітів. Тому стандарт чітко вказує, як саме алгоритм розпаковування повинен відновлювати кожен біт стислого відеозображення.

Приведений нижче графік (див. рис. 3.17) порівнює швидкість передачі даних при однаковому рівні якості зображення наступних відеостандартів: Motion JPEG, MPEG-4 і H.263. Для обраної послідовності відеокадрів кодер H.264 генерує до 50% менше біт в секунду в порівнянні з кодером MPEG-3. Кодер H.264, щонайменше, в три рази ефективніше, ніж кодер MPEG-2, і щонайменше в шість разів ефективніше, ніж Motion JPEG.

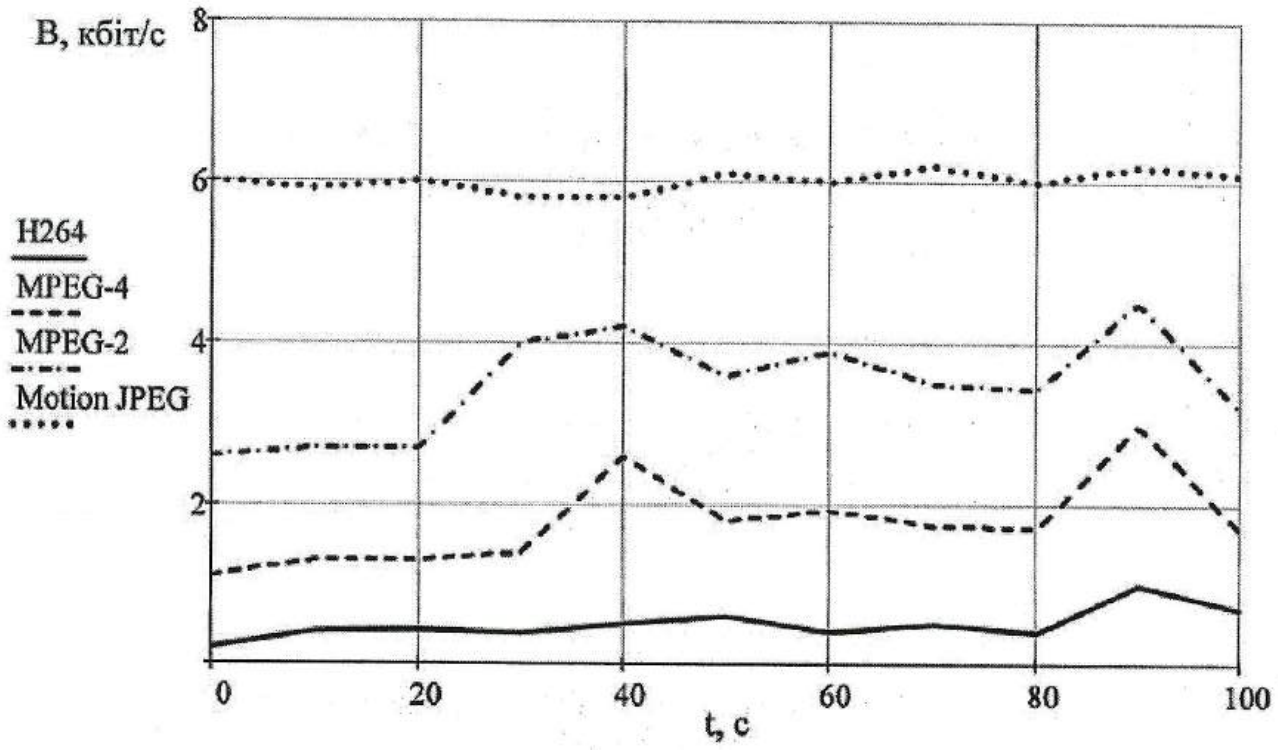


Рисунок 3.17. Порівняння швидкість передачі даних при однаковому рівні якості зображення для відеокамери, що встановлена перед дверима

Об'єднана група, що бере участь у визначенні стандарту H.264, зосередила свою основну увагу на створенні простого і ясного рішення, що

зводить до мінімуму кількість опцій і параметрів. Важливим аспектом даного стандарту, як і у випадку з іншими відеостандартами, є надання різних можливостей в рамках профілів (наборів алгоритмічних параметрів) і рівнів (класів функціонування) для оптимальної підтримки популярних продуктів і поширених форматів.

У H.264 закладено сім профілів, кожен з яких розрахований на конкретну сферу застосування. Кожен профіль визначає, який саме набір параметрів може використовувати кодер, і обмежує складність реалізації декодера.

Мережеві камери і відеокодери, швидше за все, використовуватимуть так званий базовий профіль, розрахований переважно на застосування в областях з обмеженими обчислювальними потужностями. Базовий профіль найбільш підходить для застосування в сучасних кодерах режиму реального часу, вбудованих в мережеве відеообладнання. Цей профіль також забезпечує низький рівень затримки, що є важливою вимогою для телетрансляцій реального часу, і також має особливу важливість для управління в режимі реального часу функціями панорамування, нахилу і масштабування мережевих камер.

H.264 має 11 рівнів обмеження вимог до функціональності, пропускного каналу і пам'яті. Кожен рівень визначає швидкість передачі даних і швидкість кодування в макроблоках в секунду для розподільчої здатності в діапазоні від телебачення низької якості до телебачення високої якості. Чим вище розподільча здатність, тим вище необхідний рівень.

Залежно від профілю H.264, кодером можу використовуватися різні типи кадрів, а саме I-кадрі, P-кадри і B-кадри (рис. 3.18).

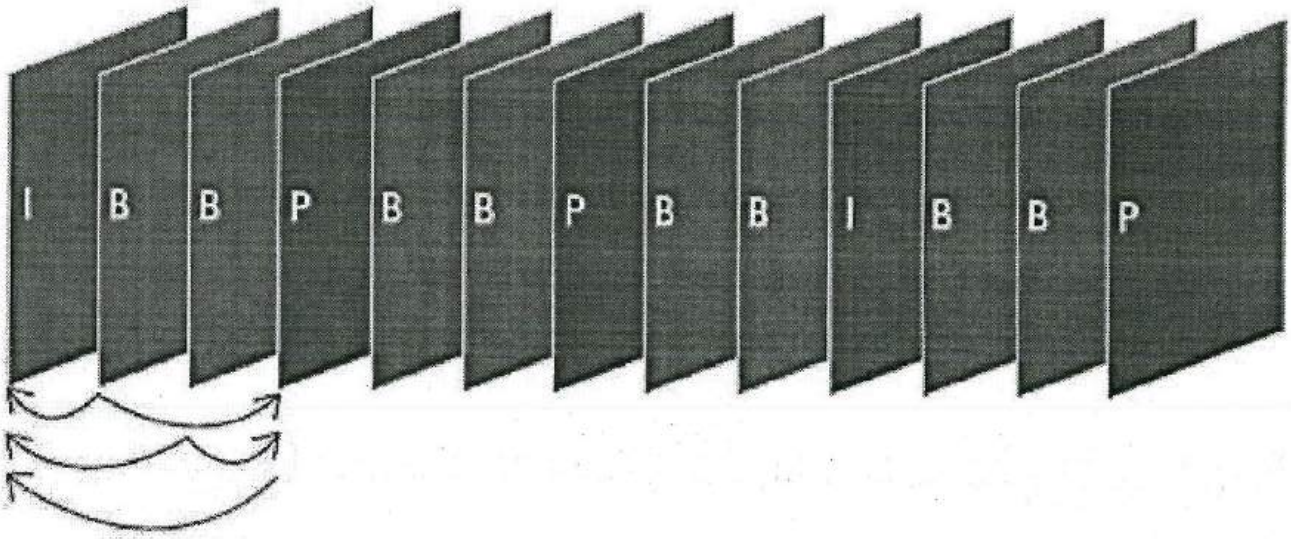


Рисунок 3.18. Типова послідовність I-, B- і P-кадрів

I-кадр (або ввідний кадр) – це ізольований кадр, який може декодуватися незалежним чином без прив'язки до будь-яких інших зображень. Перше зображення у відеопослідовності завжди є I-кадром. I-кадри необхідні як початкові точки для нових переглядів або точок повторної синхронізації в разі порушення переданого потоку бітів. I-кадри можна використовувати для реалізації функцій перемотування вперед, назад і інших функцій довільного доступу. Кодер автоматично вставляє I-кадри через рівні проміжки часу або на вимогу у разі, коли очікується приєднання нових клієнтів до перегляду потоку. Недоліком I-кадрів є надмірна кількість біт, але, з іншого боку, вони не створюють великої кількості спотворень.

P-кадр, який розшифровується як проміжний кадр передбаченого характеру, містить посилання для свого кодування на частині попередніх I-кадрів і P-кадрів. P-кадри, як правило вимагають меншу кількість біт, чим I-кадри, але мають недолік в тому плані, що вони дуже уразливі по відношенню до помилок передач через свою складну залежність від передуючих P- і I-кадрів на які посилаються.

B-кадр (або проміжний кадр двонаправленого передбачення) – це кадр, що містить в собі посилання і на попередній, і на подальший

посилальні кадри. Р- кадр може посилатися лише на попередній І- або Р-кадр, тоді як В-кадр може посилатися як на передуючий, і на подальший І- або Р-кадри.

Коли відеодекодер відновлює відеозображення за допомогою покадрівого декодування потоку біт, процес декодування завжди повинен починатися з І- кадра. При використанні Р-кадрів і В-кадрів вони повинні декодуватися разом з посилальними кадрами.

У базовому профілі Н.264 використовуються лише І- і Р-кадри. Цей профіль ідеально підходить для мережевих камер і відеокодеров через свій низький рівень затримки, що досягається за рахунок відсутності В-кадрів [17].

Для скорочення кількості відеоданих, як в рамках кадру із зображенням, так і в рамках послідовності відеокадрів, можна використовувати найрізноманітніші методи.

В рамках кадру зображення скорочення даних можна виконати простим видаленням надлишкової інформації (зменшити розмір файлу/кадру), що вплине на розподільчу здатність зображення (рис. 3.19). У форматі Motion JPEG три зображення в показаній вище послідовності кодуються і відправляються як окремі унікальні зображення (І-кадри) без якої-небудь залежності один від одного.

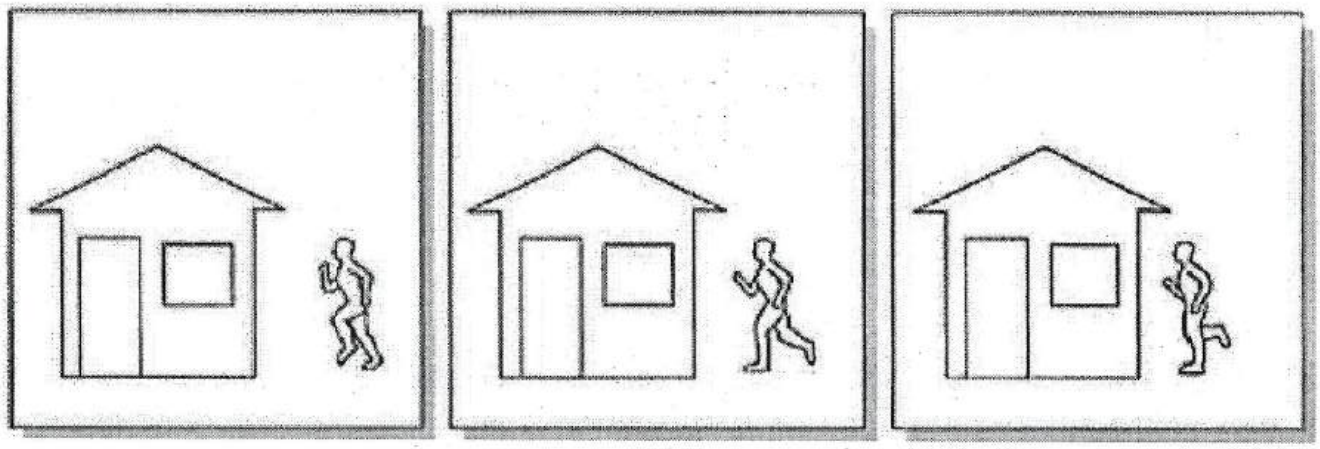


Рисунок 3.19. Кодування по унікальних зображеннях

В рамках послідовності кадрів скорочення відеоданих можна виконати за допомогою таких методів, як кодування по відмінностях, яке використовується в більшості стандартів стискування відеозображення, у тому числі і H.264 (рис. 3.20). При кодуванні по відмінностях повністю кодується лише перше зображення (I-кадр). У двох подальших зображеннях (P-кадрах) ставляться посилання на перше зображення відносно статичних елементів (в даному випадку відносно будинку) і кодуються лише рухомі елементи (людина, що в даному випадку біжить) з використанням вектора руху, що, таким чином, знижує об'єм інформації для відправки і зберігання [18].



Рисунок 3.20. Кодування по відмінностях

Об'єм кодування можна додатково понизити, якщо виявлення і кодування по відмінностях базується на блоках пікселів (макроблоках), а не на окремих пікселях - отже, порівнюються крупніші ділянки і кодуються лише блоки із значними відмінностями. Знижуються також і витрати по виказанню місця зміни.

Втім, кодування по відмінностях істотно не понизить об'єм даних, якщо відеоряд містить багато рухомих об'єктів. І тут можна використовувати такі

технології, як поблочна компенсація руху. Поблочна компенсація руху враховує те, що багато що з того, що створює новий кадр у відеопослідовності, можна знайти на попередніх кадрах, але, можливо, у іншому місці. Програма розділяє кадр на ряди макроблоків. Новий кадр (наприклад, Р-кадр) можна скласти або "передбачити" поблочно за допомогою пошуку співпадаючого блоку в посилальному кадрі. При виявленні збігу кодер просто кодує положення знайденого співпадаючого блоку в посилальному кадрі. Кодування так званого вектора руху вимагає менше об'єму інформації, чим кодування фактичного вмісту всього блоку (рис. 3.21).

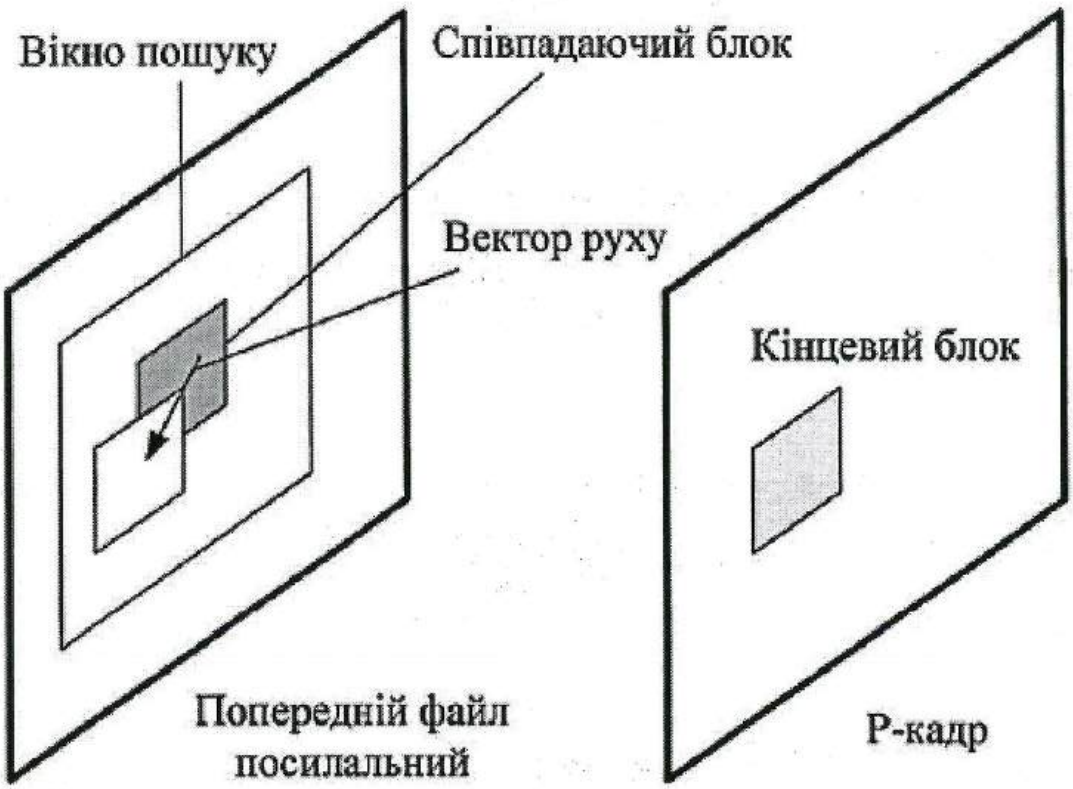


Рисунок 3.21. Ілюстрація поблочної компенсації руху

ВИСНОВКИ

Сукупність проведених досліджень та розрахунків в бакалаврській роботі складають вирішення завдання з ефективності застосування стандарту Н.264 в телебаченні.

В роботі досягнуто таких результатів:

1. Розглянуто цифрові телевізійні системи мовлення ATSC, DVB та ISDB. Зроблено висновок про те, що система телевізійного мовлення DVB є найбільш ефективною у порівнянні з ATSC та ISDB. По-перше система телевізійного мовлення DVB є найбільш поширеною в країнах Європи до якої відноситься і Україна. По-друге суттєвим недоліком систем ATSC є показник відношення сигнал/шум. Вказане для приймача ATSC співвідношення сигнал/шум 15 дБ в якості шумів включає також і відбитий сигнал. В той же час приймач DVB, хоча і має межу значення сигнал/шум 18 дБ, працює навіть при рівності основного і відбитого сигналів.

2. Досліджено параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DVB-T.

DVB-T (англ. Digital Video Broadcasting - Terrestrial) - європейський стандарт наземного цифрового мовлення, належить до сімейства стандартів DVB. Використовується, перш за все, в різних європейських, азіатських та африканських державах, а також в Австралії як стандарт для передачі цифрового телебачення і радіо. Північноамериканський пандан до DVB називається ATSC, японський - ISDB, в Китайській Народній Республіці - DMB-T/H. DVB-T в різних країнах часто має інші скорочення, наприклад, у Великобританії та Ірландії він називається «Digital Terrestrial Television (DTT)», або, відповідно до вартості, «Pay-TV» або «Freeview», в Іспанії «Television Digital Terrestre (TDT)», у Франції - «Television Numerique Terrestre (TNT)».

Стандарт дозволяє передавати стиснене відео, звук і дані в транспортному потоці MPEG, що використовує COFDM-модуляцію.

3. Приведені дослідження (див. рис. 3.31) показують високу ефективність використання кодека H.264 в телебаченні. Для обраної послідовності відеокадрів кодер H.264 генерує до 50% менше біт в секунду в порівнянні з кодером MPEG-4. Кодер H.264, щонайменше, в три рази ефективніше, ніж кодер MPEG-2, і щонайменше в шість разів ефективніше, ніж Motion JPEG.

Виходячи з цього застосування кодека H.264 при передачі ТВ каналів дозволяє в чотири рази збільшити якість відео зображення телевізійного каналу зв'язку або збільшити в чотири рази кількість каналів, які займають смугу частот одного каналу без використання даного кодека.

Проведені дослідження та розрахунки дозволять здійснювати цифрову передачу телевізійних програм високоефективними системами зв'язку і актуально для впровадження в сучасних системах телевізійного мовлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривуца В.Г., Беркман Л.Н., Толюпа С.В. Інфокомунікаційні мережі нового покоління. - К.: ДУІКТ, 2012. - 288 с.
2. Кривуца В.Г., Беркман Л.Н., Лапінський В.В. Основи інфокомунікацій: Навч. посібник. - К.: ДУІКТ, 2011. - 276 с.
3. Recommendation ITU-T H.264 I ISO/IEC 14496-10:2009, Advanced Video Coding for generic audio-visual services', March 2009
4. ITU-R Recommendation BT.601-6, 'Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and widescreen 16:9 aspect ratios', ITU-R, 2007.
5. High Definition Image Formats for Television Broadcasting', European Broadcasting Union (EBU) Technical Report 3299, Geneva, 2004.
6. Домбругов Р.М. Телебачення. - Київ: Вища Школа, 1988. - 213 с.
7. Schüller D. Audiovisual Research Archives URL: http://www.digiwiki.fi/fi/images/7/7b/Audiovisual_research_collections.pdf
8. Попович П. В. Удосконалення методів керування відеопотоком у системах цифрового телебачення за критерієм якості відеозображення : дис. канд. техн. наук : 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи / Попович Павло Васильович. – Київ, 2017. – 194 с.
9. Організаія телевізійного виробництва: конспект лекцій навч. посіб. для студ. спеціальності 6.050803 Акустотехніка/ В.С, Лазебний, В.М. Бакіко, О.О. Омельянець;КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 4,45 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 162 с.
10. Heppe D. Automating media ingest for broadcaters // IBE. — 2002, September. — P.26. 7. В.В. Губинець. Сучасні тенденції архівування відеоматеріалів / П.В. Попович, В.В. Губинець // Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених «ЕЛЕКТРОНІКА-2018». – К., 2018, - С. 371-374 URL: http://elconf.kpi.ua; 8. Anderson S. Archive of the Automation // Broadcast Engineering. — 2010, April 2.
11. Губинець В. В. Аналіз шляхів підвищення якості передавання відеоконтенту в

безпроводових мережах : дипл. атес.бакал. роб : 10.06.17 / Губинець Валерія Василівна. – Київ, 2017. – 80 с. 12.

12. В.В. Губинець. Особливості застосування відеокодеків в телевиробництві // Матеріали конференції «Сучасні проблеми застосування електронних та інформаційних технологій в телекомунікаціях, телебаченні та цифровому кінематографі». – К., 2018, - С. 15;
13. Телебачення мовленнєве. Якість телевізійних зображень. Методологія суб`єктивного оцінювання: ДСТУ ITU-R BT.500-13 (ITU-R BT.500-13, IDT). – [Чинний від 01.2012]. – Женева: Сектор радіозв'язку МСЕ, 2012. – 44 с. – (Міжн--ародний союз електрозв'язку. Рекомендація).
14. Телебачення. Системи стереоскопічного телебачення. Методи суб'єктивного оцінювання якості зображень: ДСТУ ITU-R BT.1438:2009 (ITU-R BT.1438:2000, IDT). – [Чинний від 01.07.2011]. – Женева: Сектор радіозв'язку МСЕ, 2000. – 14 с.
15. Roufs J. A. J., Perceptual image quality: Concept and measurement // Philips Journal of Research.- 1992 - 47:35–62.
16. Абакумов В.Г. Про підходи до покращення якості відеоконтенту в системах цифрового телебачення // Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки: міжнар. наук.-практ. конф., 23-25 жовтня 2014 р.: тези доп. – Чернівці: 2014. – С.48-49.
17. ITU-R Recommendation BT.601-7. Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide screen 16:9 aspect ratios (03/2011)

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

1

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ СТИСНЕННЯ ВІДЕОДАНИХ»

Виконав студент гр. АРДМ 61 Козлов Олександр

2

АКТУАЛЬНІСТЬ

Важливим питанням для вирішення проблем з підвищення пропускної здатності телевізійних каналів є проблема стискування інформації.

В області цифрового телебачення є завдання скорочення швидкості передачі двійкових символів і, відповідно, необхідної смуги частот каналу зв'язку. Це завдання може бути вирішена шляхом стискування інформації, що передається в телевізійному сигналі. Стискування інформації забезпечує також зменшення необхідного об'єму запам'ятовуючих пристроїв, при записі телепередач або окремих зображень.

Стандарт Н.264 розроблений саме для вирішення цих проблем.

3

Мета роботи – дослідити методи та алгоритми стиснення відеоданих.

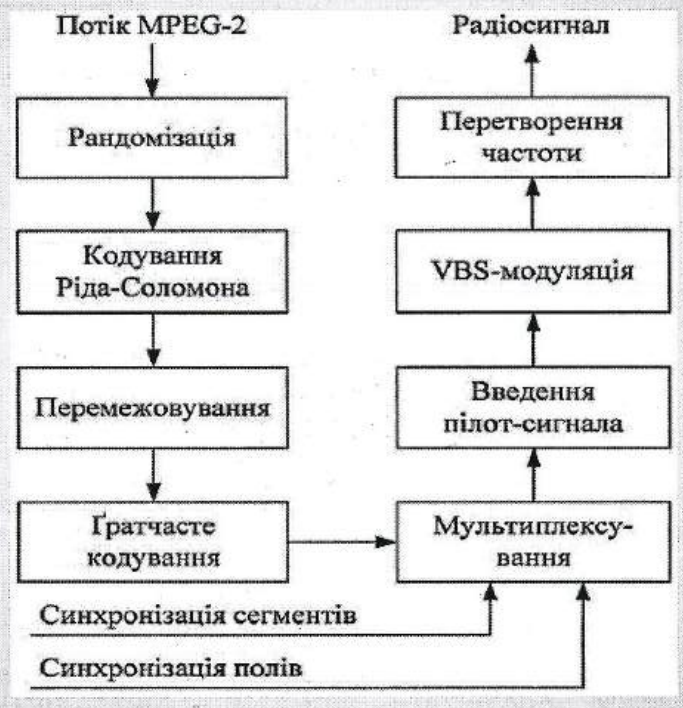
Об'єкт дослідження – системи передачі цифрового телебачення.

Предмет дослідження – кодек H.264 в стандарті DVB-T.

Методи дослідження – аналітичний, методи системного аналізу, імітаційного моделювання.

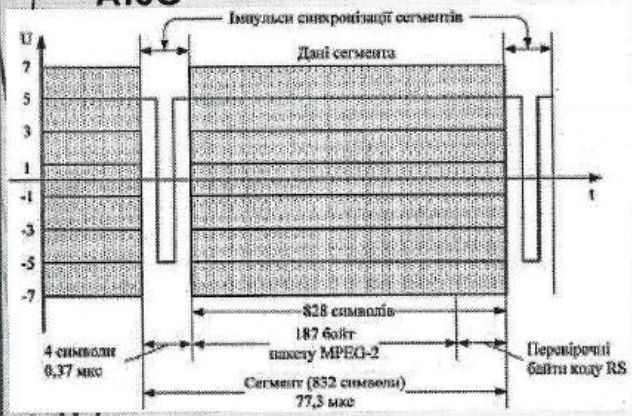
4

Формування радіосигнала в системі ATSC



5

Структура даних в сигналі 8-VSB в системі ATSC



Структура кадру при модуляції 8-VSB в системі ATSC



6

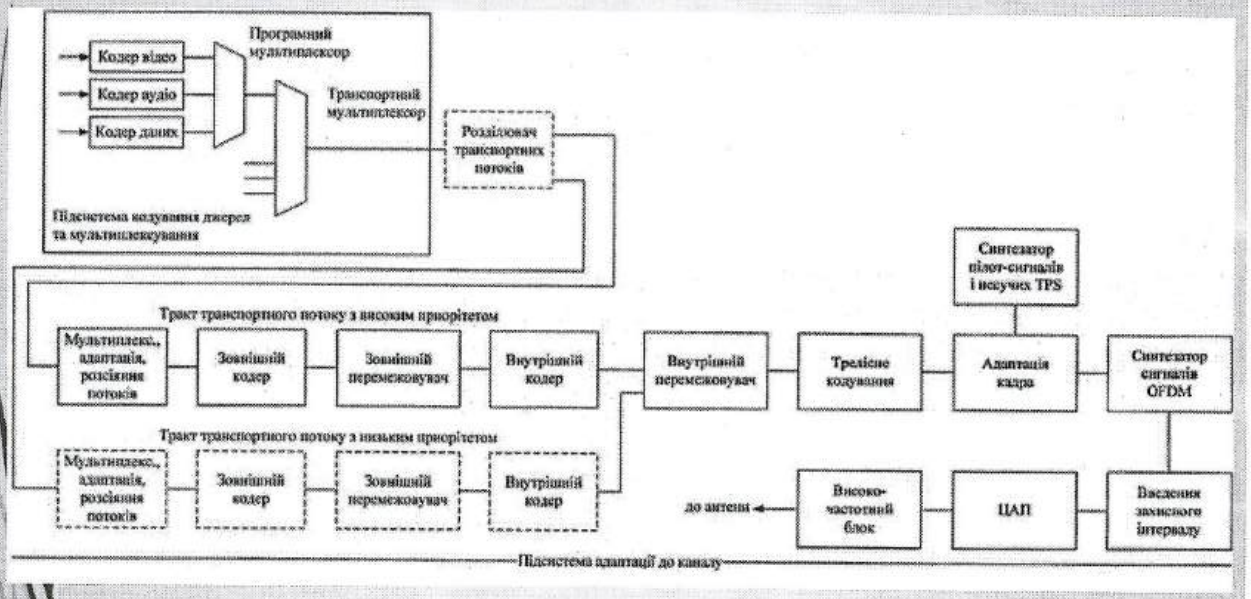
Алгоритм формування радіосигналу в ТВ системі DVB -T





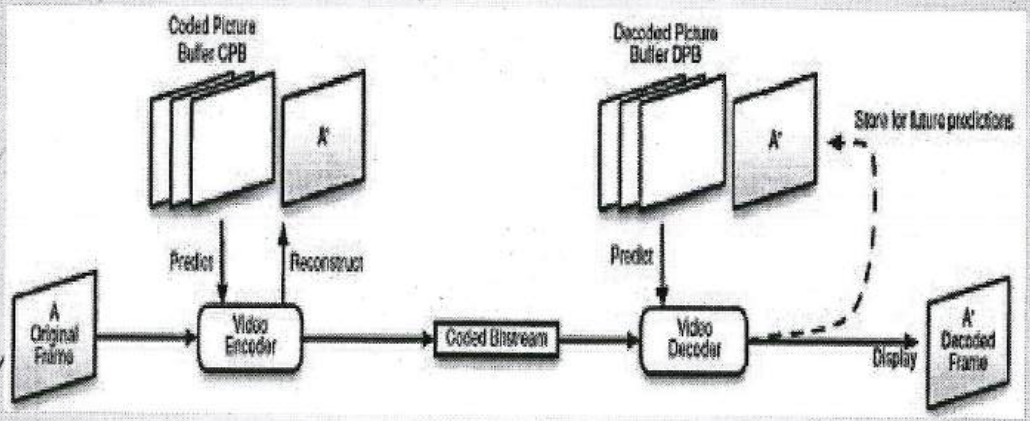
Структурна схема передавальної частини системи DVB-T

7



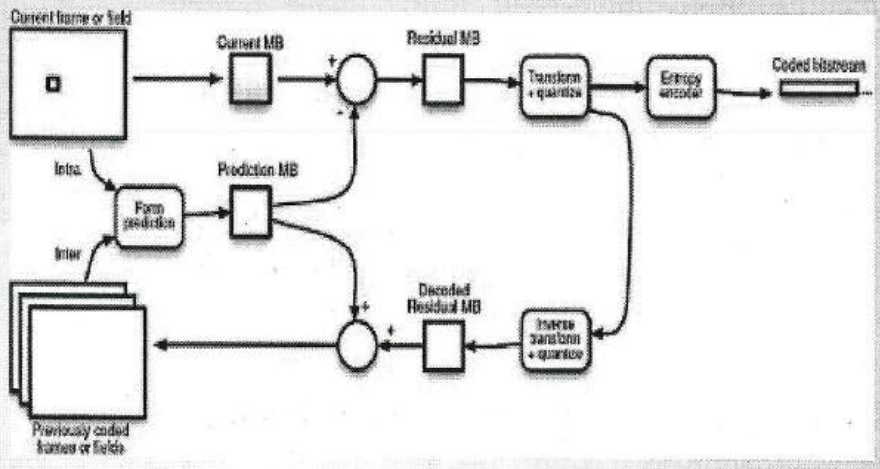
8

Відеокодек H.264

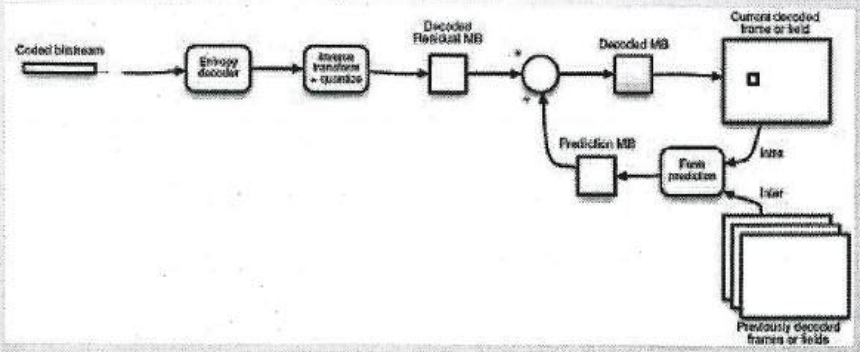


9

Типовий кодер H.264

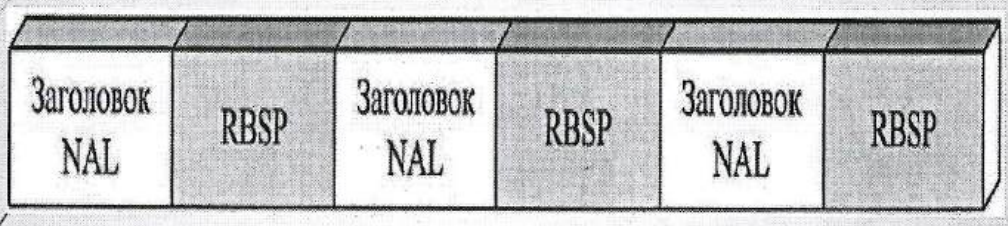


Типовий декодер H.264



10

Послідовність одиниць NAL



ВИСНОВКИ

11

Сукупність проведених досліджень та розрахунків в роботі складають вирішення завдання з ефективності застосування стандарту H.264 в телебаченні.

В роботі досягнуто таких результатів:

Розглянуто цифрові телевізійні системи мовлення ATSC, DVB та ISDB.

Досліджено параметри цифрового наземного телевізійного мовлення стандарту DVB-T.

Стандарт дозволяє передавати стиснене відео, звук і дані в транспортному потоці MPEG, що використовує COFDM-модуляцію.

Приведені дослідження показують високу ефективність використання кодека H.264 в телебаченні. Для обраної послідовності відеокадрів кодер H.264 генерує до 50% менше біт в секунду в порівнянні з кодером MPEG-4. Кодер H.264, щонайменше, в три рази ефективніше, ніж кодер MPEG-2, і щонайменше в шість разів ефективніше, ніж Motion JPEG.

Виходячи з цього застосування кодека H.264 при передачі ТВ каналів дозволяє в чотири рази збільшити якість відео зображення телевізійного каналу зв'язку або збільшити в чотири рази кількість каналів, які займають смугу частот одного каналу без використання даного кодека.

Проведені дослідження та розрахунки дозволять здійснювати цифрову передачу телевізійних програм високоефективними системами зв'язку і актуально для впровадження в сучасних системах телевізійного мовлення.

12

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Олександр Козлов

Назва: Методи та алгоритми стиснення відеоданих

Координатор: Наталія Руденко

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1:9.7

Коефіцієнт подібності 2:5

Тривога: 0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☑ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

....

Дата *Підпис Наукового керівника*